

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ



TESIS DE GRADO

**“DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE
FUNCIONAMIENTO Y RENDIMIENTO DE UN MOTOR
ENCENDIDO POR COMPRESIÓN AL UTILIZAR MEZCLAS
DE BIODIÉSEL”**

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

EDGAR FABIÁN JAYA FIERRO – PABLO ANDRÉS MANCHENO BRAVO

RIOBAMBA – ECUADOR

2009

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedicamos a nuestros padres y hermanos quienes con su ejemplo han sido nuestro apoyo, fundamental en el trayecto de nuestras carreras, para enfrentar todos los retos de nuestras vidas, sobre todo han trabajado junto con nosotros con esmero y preocupación, al saber que con su ayuda nos han sabido encaminar para llegar a una perfecta culminación de las mismas.

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, a la Facultad de Mecánica y a la Escuela de Ingeniería AUTOMOTRIZ por habernos acogido durante los años de estudio.

Al Ing. Rodrigo Díaz DIRECTOR DE TESIS, al Ing. Rigoberto Mancheno ASESOR, quienes con sus conocimientos han colaborado en la ejecución satisfactoria del presente proyecto.

Y a todas y cada una de las personas que de una o de otra manera alentaron y apoyaron en la culminación de la tesis.

SUMARIO.

Se ha determinado las características de funcionamiento y rendimiento de un motor encendido por compresión al utilizar mezclas de biodiésel con la finalidad de determinar su viabilidad técnica en la generación de potencia en motores diésel. Los resultados de las pruebas se dividen en tres secciones. Los resultados primeros de las pruebas de control de calidad realizadas a las mezclas de biodiésel, de estos análisis se pudo establecer que las mezclas cumplen con los requerimientos establecidos para el control de la calidad de los combustibles en las normas técnicas del INEN de Ecuador y de las normas ASTM a nivel internacional. Los resultados de torque, potencia, consumo específico y eficiencia total, se pudo establecer que en la curva de torque, potencia al freno consumo específico de combustible y eficiencia total la mezcla al 10% es la que presenta las mejores características para el funcionamiento del motor. La última sección muestra resultados en las emisiones de gases de escape tanto como para el diésel puro como para las mezclas de biodiésel, se pudo establecer que las emisiones y la opacidad bajan desde un 10% hasta un 32%. Con el estudio se demuestra que el biodiésel obtenido experimentalmente a partir de aceite de palma por medio del proceso de transesterificación es viable técnicamente y se puede utilizar en la generación de potencia en motores diésel así como permitió determinar el efecto benéfico desde el punto de vista ambiental del biodiésel empleado en mezcla con el diésel.

SUMMARY

Functioning and Performance Features of a started motor by compression were determined upon using biodiesel mixtures to find out their technical viability in the generation of diesel motor power. The test results are divided into three sections. The first results of the quality control tests were performed to the biodiesel mixtures. From these analyses it was possible to establish that the mixtures meet the stated requirements for the quality control of fuels in the technical norms of INEN of Ecuador and ASTM norms at an international level. From the torque, power, specific consumption and total efficiency it was possible to establish that in the torque curve, brake power, specific fuel consumption and total efficiency of the mixture at 10% the best features were shown for the motor functioning. The last section shows results in the exhaust gas emission for both the pure diesel and the biodiesel mixtures. It was possible to state that the emission and opacity decrease from 10% up to 32%. With this study it is shown that the biodiesel obtained experimentally from the palm tree oil through the trans-esterification process is viable technically and can be used in the power generation in diesel motors and permitted to determine the beneficial effect from the environmental point of view of the biodiesel used in the mixture with diesel.

LISTA DE CONTENIDOS.

Pág.

CAPÍTULO I.

GENERALIDADES.

1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO.

2.1. Marco teórico del biodiésel.....	5
2.1.1. Energías alternativas.....	5
2.1.1.1. Gas natural.....	5
2.1.1.2. GLP.....	6
2.1.1.3. Hidrógeno.....	6
2.1.1.4. Etanol.....	7
2.1.1.5. Biodiésel.....	7
2.1.2. Historia del biodiésel.....	8
2.1.3. Propiedades y especificaciones del biodiésel.....	9
2.1.4. Emisiones por la combustión del biodiésel.....	11
2.1.5. Ventajas al utilizar biodiésel.....	13
	17

2.1.6. Desventajas asociadas al uso del biodiésel.....	19
2.1.7. Producción del biodiésel en Ecuador y el mundo.....	19
2.1.7.1. El biodiésel en el mundo.....	21
2.1.7.2. El biodiésel en el Ecuador.....	25
2.1.8. Procesos de fabricación.....	27
2.1.9. Costos del biodiésel.....	29
2.2. Marco teórico para el control calidad de combustibles.....	29
2.2.1. Gravedad API y peso específico.....	29
2.2.1.1. Formula de la gravedad API.....	30
2.2.2. Densidad específica o relativa.....	31
2.2.3. Punto de inflamación.....	32
2.2.4. Índice de cetano calculado.....	34
2.2.5. Viscosidad.....	37
2.2.6. Corrosión a la lámina de cobre.....	37
2.2.7. Destilación.....	38
2.3. Marco teórico del motor de combustión interna.....	38
2.3.1. Motor diésel.....	41
2.3.2. Conceptos generales.....	41
2.3.2.1. Calor añadido.....	42
2.3.2.2. Potencia del motor.....	44
2.3.2.3. Consumo de aire.....	45
2.3.2.4. Rendimiento de los motores.....	48
2.3.2.5. Eficiencia.....	48
2.3.3. Curvas características.....	49

2.3.3.1. Curvas de velocidad.....	49
2.3.3.2. Curvas de carga.....	50
2.3.4. Banco de pruebas.....	51
2.3.4.1. Sistema de freno.....	54
2.3.4.2. Sistema de combustible.....	58
2.3.4.3. Sistema de refrigeración.....	59
2.3.4.4. Sistema de aire.....	61
2.4. Marco teórico de las emisiones de escape.....	64
2.4.1. Monóxido de carbono (CO).....	66
2.4.2. Monóxido de nitrógeno (NO).....	67
2.4.3. Hidrocarburos (HC).....	68
2.4.4. Dióxido de azufre (SO ₂).....	69
2.4.5. Oxígeno (O ₂).....	69
2.4.6. Opacidad.....	

CAPÍTULO III.

PROCEDIMIENTOS.	71
3.1. Pruebas realizadas al biodiésel.....	71
3.1.1. Curvas de destilación.....	77
3.1.2. Punto de inflamación.....	72
3.1.3. Densidad API y gravedad específica.....	84
3.1.4. Índice de cetano.....	87
3.1.5. Corrosión a la lámina de cobre.....	89
3.1.6. Viscosidad cinemática.....	91

3.2. Pruebas realizadas al motor diésel.....	92
3.2.1. Torque.....	95
3.2.1. Potencia al freno.....	98
3.2.1. Consumo específico de combustible.....	98
3.2.1.1. Realización de la práctica.....	99
3.2.3.2. Medición controlando el volumen consumido.....	101
3.2.3.3. Consumo específico de combustible.....	101
3.3. Pruebas realizadas a los gases de combustión.....	101
3.3.1. Gases de combustión.....	103
3.3.2. La opacidad.....	

CAPÍTULO IV

RESULTADOS OBTENIDOS.	105
4.1. Pruebas físico – químicas.....	105
4.1.1. Destilación.....	105
4.1.1.1. Tabulación de datos experimentales.....	106
4.1.1.2. Resultado destilación diésel 100%.....	106
4.1.1.3. Resultado destilación biodiésel 2%.....	107
4.1.1.4. Resultado destilación biodiésel 5%.....	107
4.1.1.5. Resultado destilación biodiésel 10%.....	108
4.1.1.6. Resultado destilación biodiésel 15%.....	108
4.1.2. Punto de inflamación.....	108
4.1.2.1. Tabulación de datos experimentales.....	109

4.1.3. Densidad API y gravedad específica.....	109
4.1.3.1. Tabulación de datos experimentales.....	110
4.1.3.2. Resultados densidad API.....	110
4.1.3.3. Calculo gravedad específica.....	111
4.1.3.4. Calculo densidad 15°C.....	112
4.1.4. Índice de cetano.....	112
4.1.4.1. Resultados índice de cetano.....	113
4.1.4.2. Método de ábaco.....	114
4.1.5. Corrosión a la lámina de cobre.....	114
4.1.5.1. Resultados de la corrosión a la lámina de cobre.....	115
4.1.6. Viscosidad cinemática.....	115
4.1.6.1. Tabulación de datos experimentales.....	116
4.1.6.2. Resultados viscosidad cinemática.....	116
4.2. Resultados en el motor.....	116
4.2.1. Torque.....	116
4.2.1.1. Resultados en el torque utilizando diésel 100%.....	117
4.2.1.2. Resultados en el torque utilizando biodiésel 2%.....	117
4.2.1.3. Resultados en el torque utilizando biodiésel 5%.....	118
4.2.1.4. Resultados en el torque utilizando biodiésel 10%.....	118
4.2.1.5. Resultados en el torque utilizando biodiésel 15%.....	119
4.2.2. Potencia al freno.....	119
4.2.2.1. Resultados en la potencia al freno utilizando diésel 100%	119
4.2.2.2. Resultados en la potencia al freno utilizando biodiésel 2%	120
4.2.2.3. Resultados en la potencia al freno utilizando biodiésel 5%	120

4.2.2.4. Resultados en la potencia al freno utilizando biodiésel 10%	121
4.2.2.5. Resultados en la potencia al freno utilizando biodiésel 15%	121
4.2.3. Consumo específico de combustible.....	121
4.2.3.1. Resultados en el consumo específico utilizando diésel 100%.	122
4.2.3.2. Resultados en el consumo específico utilizando biodiésel 2%	123
4.2.3.2. Resultados en el consumo específico utilizando biodiésel 5%	123
4.2.3.2. Resultados en el consumo específico utilizando biodiésel 10%	124
4.2.3.2. Resultados en el consumo específico utilizando biodiésel 15%	124
4.2.4. Eficiencia total.....	124
4.2.4.1. Resultados en la eficiencia utilizando diésel 100%.....	125
4.2.4.2. Resultados en la eficiencia utilizando biodiésel 2%.....	125
4.2.4.3. Resultados en la eficiencia utilizando biodiésel 5%.....	126
4.2.4.4. Resultados en la eficiencia utilizando biodiésel 10%.....	126
4.2.4.5. Resultados en la eficiencia utilizando biodiésel 15%.....	127
4.3. Gases de combustión.....	127
4.3.1. Resultados obtenidos diésel 100%.....	128
4.3.2. Resultados obtenidos biodiésel 2%.....	129
4.3.3. Resultados obtenidos biodiésel 5%.....	130
4.3.4. Resultados obtenidos biodiésel 10%.....	131
4.3.5. Resultados obtenidos biodiésel 15%.....	132
4.4. Resultados en la opacidad.....	132
4.4.1. Resultados en la opacidad utilizando diésel 100%.....	132
4.4.2. Resultados en la opacidad utilizando biodiésel 2 %.....	133
4.4.3. Resultados en la opacidad utilizando biodiésel 5 %.....	133

4.4.4. Resultados en la opacidad utilizando biodiésel 10 %.....	133
4.4.5. Resultados en la opacidad utilizando biodiésel 15 %.....	

CAPÍTULO V

ANALISIS DE LOS RESULTADOS.	134
5.1. Análisis de las pruebas físico químicas.....	134
5.1.1. Destilación.....	136
5.1.2. Punto de inflamación.....	136
5.1.2.1. Resultados del laboratorio punto de inflamación.....	137
5.1.3. Densidad API.....	137
5.1.3.1. Calculo gravedad específica.....	138
5.1.3.2. Cálculo densidad 15°C.....	139
5.1.4. Análisis de los resultados del laboratorio índice de cetano.....	140
5.1.5. Corrosión lámina de cobre.....	141
5.1.6. Viscosidad cinemática.....	143
5.2. Análisis de los resultados de las pruebas en el motor.....	143
5.2.1. Torque.....	144
5.2.2. Potencia al freno.....	145
5.2.3. Consumo específico de combustible.....	146
5.2.4. Eficiencia total.....	147
5.3. Análisis de los resultados de las emisiones.....	147
5.3.1. Análisis de emisiones de CO ₂	148
5.3.2. Análisis de emisiones de CO.....	149
5.3.3. Análisis de emisiones de SO ₂	150

5.3.4. Análisis de emisiones de NO _x	151
5.3.5. Análisis de emisiones de O ₂	152
5.4. Análisis de la opacidad.....	152
5.4.1. Análisis de la opacidad utilizando diésel 100%.....	153
5.4.2. Análisis de la opacidad utilizando biodiésel 2 %.....	153
5.4.3. Análisis de la opacidad utilizando biodiésel 5 %.....	154
5.4.4. Análisis de la opacidad utilizando biodiésel 10 %.....	154
5.4.5. Análisis de la opacidad utilizando biodiésel 15 %.....	
 CAPÍTULO VI	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	156
6.1. Conclusiones.....	158
6.2. Recomendaciones.....	
	159
BIBLIOGRAFÍA.....	161
ANEXOS.....	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estado de los biocombustibles (10-2008) en América Latina y el Caribe...	
Figura 2. Reacciones químicas de transesterificación.....	
Figura 3. Fases de producción y comercialización de biodiésel.....	
Figura 4. Costos del biodiésel.....	
Figura 5. Potencia del motor de combustión interna.....	
Figura 6. Esquema del freno hidráulico del motor diésel.....	
Figura 7. Fotografía del motor diésel.....	
Figura 8. Sistema de combustible.....	
Figura 9. Circulación general.....	
Figura 10. Medidor de caudal.....	
Figura 11. Recuperación de nivel.....	
Figura 12. Graduación del medidor caudal.....	

Figura 13. Sistema de refrigeración.....	26
Figura 14. Principio de funcionamiento de la caja de aire.....	27
Figura 15. Sistema de aire.....	38
Figura 16. Altura del manómetro inclinado.....	42
Figura 17. Características del balón de destilación.....	52
Figura 18. Características de la probeta.....	53
Figura 19. Aparato de destilación con calentamiento eléctrico.....	54
Figura 20. Colocación correcta del termómetro en el balón de destilación.....	54
Figura 21. Equipo Pensky-Martens.....	55
Figura 22. Termohidrómetro.....	56
Figura 23. Colocación correcta del termohidrómetro en la probeta.....	56
Figura 24. Lectura correcta del hidrómetro.....	58
Figura 25. Ábaco del índice de cetano.....	60
Figura 26. Estándares comparativos de corrosión ASTM.....	60
Figura 27. Bomba de corrosión.....	61
Figura 28. Viscosímetro de vidrio capilar.....	73
Figura 30. Analizador de gases TESTO 350 M/XL	74
Figura 31. Opacímetro MAHA MDO2.....	74
Figura 32. Curva de destilación de todos los combustibles.....	76
Figura 33. Punto de Inflamación de todos los combustibles.....	78
Figura 34. Gravedad específica 60°F de todos los combustibles.....	81
Figura 35. Densidad 15°C de todos los combustibles.....	82
Figura 36. Densidad 15°C de todos los combustibles.....	83
Figura 37. Resultados de corrosión del diésel 2.....	86

Figura 38. Corrosión estándar ASTM.....	88
Figura 39. Gráfica de corrosión del diésel 2.....	88
Figura 40. Torque con todos los combustibles.....	90
Figura 41. Potencia al freno con todos los combustibles.....	101
Figura 42. Consumo específico con todos los combustibles.....	103
Figura 43. Eficiencia total con todos los combustibles.....	135
Figura 44. Análisis de las emisiones de CO ₂	136
Figura 45. Análisis de las emisiones de CO.....	137
Figura 46. Análisis de las emisiones de SO ₂	138
Figura 47. Análisis de las emisiones de NO _x	139
Figura 48. Análisis de las emisiones de O ₂	140
Figura 52. Variación de opacidad utilizando diesel 100%.....	141
Figura 53. Variación de opacidad utilizando biodiésel 2%.....	142
Figura 54. Variación de opacidad utilizando biodiésel 5%.....	143
Figura 55. Variación de opacidad utilizando biodiésel 10%.....	144
Figura 56. Variación de opacidad utilizando biodiésel 15%.....	145
	146
	147
	148
	149
	150
	151
	152
	152

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades y especificaciones del biodiésel.....	
Tabla 2. Emisiones por la combustión del biodiésel.....	11
Tabla 3. Países de Europa productores de biodiésel.....	13
Tabla 4. Mezclas biodiésel utilizado en América Latina.....	20
Tabla 5. Producción mundial y ecuatoriana de aceite de palma.....	26
Tabla 6. Precios de biocombustibles.....	23
Tabla 7. Costo de la tonelada métrica de biodiésel.....	28
Tabla 8. Límites de viscosidad para combustibles diésel.....	28
Tabla 9. Datos técnicos.....	36
Tabla 10. Componentes de los gases de escape en motores diésel.....	51
Tabla 11. Condiciones de ensayo para la destilación de los derivados del petróleo	63
Tabla 12. Especificaciones del termómetro.....	73
Tabla 13. Especificaciones de los hidrómetros.....	78

Tabla 14. Tiempo de inmersión del termohidrómetro.....	81
Tabla 15. Datos técnicos.....	83
Tabla 16. Datos técnicos.....	102
Tabla 17. Temperatura experimental del la destilación.....	103
Tabla 18. Temperatura corregida de la destilación del diésel 100%.....	105
Tabla 19. Temperatura corregida de la destilación del biodiésel 2%.....	106
Tabla 20. Temperatura corregida de la destilación del biodiésel 5%.....	106
Tabla 21. Temperatura corregida de la destilación del biodiésel 10%.....	107
Tabla 22. Temperatura corregida de la destilación del biodiésel 15%.....	107
Tabla 23. Punto Inflamación experimental.....	108
Tabla 24. Punto Inflamación corregido.....	108
Tabla 25. Densidad API experimental.....	109
Tabla 26. Densidad API 60°F.....	109
Tabla 27. Gravedad específica 60°F.....	110
Tabla 28. Densidad 15°C.....	111
Tabla 29. Temperatura de destilación al 50%.....	112
Tabla 30. Gravedad API 60°F.....	112
Tabla 31. Índice de cetano.....	113
Tabla 32. Corrosión a la lámina de cobre.....	113
Tabla 33. Tiempo experimental.....	115
Tabla 34. Viscosidad cinemática.....	115
Tabla 35. Torque diésel 100%.....	116
Tabla 36. Torque biodiésel 2%.....	116
Tabla 37. Torque biodiésel 5%.....	117

Tabla 38. Torque biodiésel 10%.....	117
Tabla 39. Torque biodiésel 15%.....	118
Tabla 40. Potencia al freno diésel 100%.....	118
Tabla 41. Potencia al freno biodiésel 2%.....	119
Tabla 42. Potencia al freno biodiésel 5%.....	120
Tabla 43. Potencia al freno biodiésel 10%.....	120
Tabla 44. Potencia al freno biodiésel 15%.....	121
Tabla 45. Consumo específico combustible diésel 100%.....	121
Tabla 46. Consumo específico combustible biodiésel 2%.....	122
Tabla 47. Consumo específico combustible biodiésel 5%.....	122
Tabla 48. Consumo específico combustible biodiésel 10%.....	123
Tabla 49. Consumo específico combustible biodiésel 15%.....	123
Tabla 50. Eficiencia total diésel 100%.....	124
Tabla 51. Eficiencia total biodiésel 2%.....	124
Tabla 52. Eficiencia total biodiésel 5%.....	125
Tabla 53. Eficiencia total biodiésel 10%.....	125
Tabla 54. Eficiencia total biodiésel 15%.....	126
Tabla 55. Emisiones utilizando diésel 100% - 2.000 RPM.....	126
Tabla 56. Emisiones utilizando diésel 100% - 1.500 RPM.....	127
Tabla 57. Emisiones utilizando diésel 100% - 1.000 RPM.....	128
Tabla 58. Emisiones utilizando biodiésel 2% - 2.000 RPM.....	128
Tabla 59. Emisiones utilizando biodiésel 2% - 1.500 RPM.....	128
Tabla 60. Emisiones utilizando biodiésel 5% - 2.000 RPM.....	129
Tabla 61. Emisiones utilizando biodiésel 5% - 1.500 RPM.....	129

Tabla 62. Emisiones utilizando biodiésel 5% - 1.250 RPM.....	129
Tabla 63. Emisiones utilizando biodiésel 10% - 2.000 RPM.....	130
Tabla 64. Emisiones utilizando biodiésel 10% - 1.500 RPM.....	130
Tabla 65. Emisiones utilizando biodiésel 10% - 1.000 RPM.....	130
Tabla 66. Emisiones utilizando biodiésel 15% - 2.000 RPM.....	131
Tabla 67. Emisiones utilizando biodiésel 15% - 1.500 RPM.....	131
Tabla 68. Emisiones utilizando biodiésel 15% - 1.000 RPM.....	131
Tabla 69. Resultados opacidad utilizando diésel 100%.....	132
Tabla 70. Resultados opacidad utilizando biodiésel 2%.....	132
Tabla 71. Resultados opacidad utilizando biodiésel 5%.....	132
Tabla 72. Resultados opacidad utilizando biodiésel 10%.....	133
Tabla 73. Resultados opacidad utilizando biodiésel 15%.....	133
Tabla 74. Tabla de destilación de todos los combustibles.....	133
Tabla 75. Tabla de destilación a 90 ml de todos los combustibles.....	134
Tabla 76. Tabla del punto de inflamación de todos los combustibles.....	
Tabla 77. Tabla de la gravedad específica 60°F de todos los combustibles.....	
Tabla 78. Tabla de la densidad 15°C de todos los combustibles.....	
Tabla 79. Tabla del índice de cetano de todos los combustibles	
Tabla 80. Tabla de la viscosidad de todos los combustibles.....	
Tabla 81. Tabla del análisis de emisiones de CO ₂	
Tabla 82. Tabla del análisis de emisiones de CO.....	
Tabla 83. Tabla del análisis de emisiones de SO ₂	
Tabla 84. Tabla del análisis de emisiones de NO _x	
Tabla 85. Tabla del análisis de emisiones de O ₂	

CAPÍTULO I

GENERALIDADES.

1.1 Introducción.

Es bien, conocido que una de las principales máquinas contaminantes creadas por el hombre son los motores de combustión interna que funcionan generalmente con diésel y gasolina, y que son los usados mayoritariamente por vehículos automotores.

Durante los últimos 120 años los automotores han funcionado a partir de combustibles fósiles tales como el petróleo y sus derivados pero, la dependencia a éstos, tiene que ser reducida debido al impacto ambiental negativo y al inminente agotamiento de las reservas mundiales.

Desde hace unos cuantos años se conoce que los combustibles tradicionales como el petróleo y el carbón, sobre los que descansa la técnica moderna, se agotaran a corto plazo. Por consiguiente la utilización de fuentes alternas de energía como el biodiésel obtenido a partir de aceites y grasas vegetales y animales, constituye una alternativa para reemplazar los combustibles fósiles tradicionales.

En nuestro país apenas se están comenzando a dar los primeros pasos en la definición de políticas claras de energía que supongan el aprovechamiento de combustibles renovables de origen vegetal y el uso de combustibles híbridos, a tal punto que la Asamblea Nacional en uso de sus facultades constitucionales y legales, expide la LEY DE FOMENTO DE LOS BIOCOMBUSTIBLES aprobada en la sala de sesiones de la Asamblea Nacional del Ecuador, a los catorce días del mes de noviembre del año dos mil siete, cuyo objetivo es la formulación, identificación y diseño de políticas públicas, para la producción de biocombustibles utilizando materias

primas y biomasas locales, promoviendo su vinculación con los sectores energéticos, agroindustrial y agroforestal.

La sustitución parcial del diésel del petróleo por biodiésel representa una tendencia a nivel mundial, y lo más importante para nuestro país, la creación de empleo agrícola productivo al contar con cultivos de palma africana y otros productos agrícolas con excelente opción para la producción del biodiésel, siempre y cuando se den las señales apropiadas por parte del gobierno y las universidades para promover la investigación en esta área.

1.2. Justificación.

Se sabe que es cada vez más cercano el agotamiento de los combustibles fósiles. Esto nos ubica frente al gran desafío que implica ir en búsqueda de fuentes de energía alternativas que puedan garantizar la protección del medio ambiente, y al mismo tiempo generar el impulso necesario para hacer frente a la crisis mundial que la desaparición de combustibles tradicionales podría desatar.

Por estos motivos, la ESPOCH ha otorgado un valor estratégico a la investigación, el desarrollo y la formulación de propuestas de políticas en materia de energías alternativas, ejemplos de esta política son la creación del proyecto de Energías alternativas ESPOCH – CONESUP, y el apoyo brindado al presente anteproyecto de tesis por parte del Director de dicho proyecto para ser financiado y contar con el apoyo logístico correspondiente.

En el presente trabajo se pretende enumerar las principales ventajas y desventajas del uso del biodiésel como combustible vehicular, documentar el proceso de obtención del biodiésel, y concretamente determinar las características de

funcionamiento y rendimiento de un motor utilizando como combustible biodiésel para concluir si esta alternativa ecológica y técnicamente es viable para la generación de potencia en motores al utilizar biodiésel y mezclas de biodiésel a diferentes porcentajes.

Considerando que nosotros tenemos que anticiparnos a la crisis energética y una de las posibilidades es el biodiésel que toma cada vez más relevancia en el mundo pues están considerados como combustibles alternativos limpios por el hecho de provenir de una fuente renovable. Si algo necesita nuestro país es tener una política energética de múltiples fuentes y en la cual se de gran peso a las fuentes vegetales.

Sin embargo la definición de estas políticas necesita conocer la utilidad y las aplicaciones de combustibles renovables de origen vegetal. Por consiguiente se hace necesario realizar estudios de factibilidad técnica y ambiental de generación de potencia en motores Diésel utilizando como combustible biodiésel obtenido de aceites vegetales propios de la región, como son el aceite de palma y sus fracciones.

Estas entre otras razones, sustentan este trabajo de investigación como aporte científico – técnico tanto para el Proyecto de Energías Alternativas Espoch - Conesup como para determinar la viabilidad fundamentalmente técnica y ambiental de generación de potencia utilizando como combustible biodiésel.

1.3. Objetivos.

1.3.1. General.

Determinar las características de funcionamiento y rendimiento de un motor encendido por compresión al utilizar mezclas de Biodiésel.

1.3.2. Específicos.

- Recopilar la documentación técnica que servirá de fundamento para el desarrollo del presente tema.
- Realizar las pruebas de las características físicas y químicas del biodiésel.
- Determinar las curvas características del motor con mezclas parciales de biodiésel.
- Realizar el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas a las muestras de biodiésel, comportamiento del motor y de los productos de la combustión.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Marco teórico del biodiésel.

2.1.1. Energías alternativas.

Una energía alternativa, o más precisamente una fuente de energía alternativa es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación.

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. El concepto de "crisis energética" aparece cuando las fuentes de energía de las que se abastece la sociedad se agotan. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener dicha energía, así tenemos pues entre los más importantes:

2.1.1.1. Gas natural.

El gas natural es una mezcla de gases que se encuentra frecuentemente en yacimientos fósiles, no-asociado, disuelto o asociado con petróleo o en depósitos de carbón. Aunque su composición varía en función del yacimiento del que se extrae, está compuesto principalmente por metano en cantidades que comúnmente pueden

superar el 90 ó 95% , y suele contener otros gases como nitrógeno, etano, CO₂, H₂S, butano, propano, mercaptanos y trazas de hidrocarburos más pesados.

Puede obtenerse también con procesos de descomposición de restos orgánicos (basuras, vegetales - gas de pantanos) en las plantas de tratamiento de estos restos (depuradoras de aguas residuales urbanas, plantas de procesado de basuras, de alpechines, etc.). El gas obtenido así se llama biogás.

El gas natural que se obtiene debe ser procesado para su uso comercial o doméstico. Algunos de los gases que forman parte del gas natural extraído se separan de la mezcla porque no tienen capacidad energética (nitrógeno o CO₂) o porque pueden depositarse en las tuberías usadas para su distribución debido a su alto punto de ebullición. Si el gas es criogénicamente licuado para su almacenamiento, el dióxido de carbono (CO₂) solidificaría interfiriendo con el proceso criogénico.

2.1.1.2. GLP.

GLP es la abreviatura de "gases licuados del petróleo", denominación aplicada a diversas mezclas de propano y butano que alcanzan el estado gaseoso a temperatura y presión atmosférica, y que tienen la propiedad de pasar a estado líquido a presiones relativamente bajas, propiedad que se aprovecha para su almacenamiento y transporte en recipientes a presión.

2.1.1.3. Hidrógeno.

El hidrógeno es un elemento químico representado por el símbolo H y con un número atómico de 1. En condiciones normales de presión y temperatura, es un gas diatómico (H₂) incoloro, inodoro, insípido, no metálico y altamente inflamable. El

hidrógeno es el elemento químico más ligero y es, también, el elemento más abundante, constituyendo aproximadamente el 75% de la materia del universo.

En su ciclo principal, las estrellas están compuestas por hidrógeno en estado de plasma. El hidrógeno elemental es muy escaso en la Tierra y es producido industrialmente a partir de hidrocarburos como, por ejemplo, el metano. La mayor parte del hidrógeno elemental se obtiene "in situ", es decir, en el lugar y en el momento en el que se necesita. El hidrógeno puede obtenerse a partir del agua por un proceso de electrólisis, pero resulta un método mucho más caro que la obtención a partir del gas natural.

El hidrógeno puede formar compuestos con la mayoría de los elementos y está presente en el agua y en la mayoría de los compuestos orgánicos. Desempeña un papel particularmente importante en la química ácido - base, en la que muchas reacciones conllevan el intercambio de protones entre moléculas solubles.

2.1.1.4. Etanol.

El compuesto químico etanol, o alcohol etílico, es un alcohol que se presenta como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78 °C. Al mezclarse con agua en cualquier proporción, da una mezcla azeotrópica.

2.1.1.5. Biodiésel.

El biodiésel es un biocombustible sintético líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, nuevos o usados, mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación, y que se aplica en la preparación de sustitutos totales o parciales del petrodiesel o gasóleo obtenido del petróleo.

La ASTM (American Society for Testing and Materials) define el biodiésel como *“el éster mono alquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos renovables, como por ejemplo aceites vegetales o grasas animales, para utilizarlos en motores Diésel”*.

Se presenta en estado líquido y se obtiene a partir de recursos renovables como aceites vegetales de soja, colza/canola, girasol, palma y otros, como así también de grasas animales, a través de un proceso denominado transesterificación.

El biodiésel puede mezclarse con gasóleo procedente del refinado de petróleo en diferentes cantidades.

2.1.2. Historia del biodiésel.

El aceite vegetal, cuyas propiedades para la impulsión de motores se conocen desde la invención del motor Diésel gracias a los trabajos de Rudolf Diésel, ya se destinaba a la combustión en motores de ciclo Diésel convencionales o adaptados.

A principios del siglo XXI, en el contexto de búsqueda de nuevas fuentes de energía y la creciente preocupación por el calentamiento global del planeta, se impulsó su desarrollo para su utilización en automóviles como combustible alternativo a los derivados del petróleo.

El uso por primera vez de aceites vegetales como combustibles, se remontan al año de 1900, siendo Rudolph Diésel, quien lo utilizara por primera vez en su motor de ignición - compresión y quien produjo tempranas versiones de una máquina que utilizaba aceite de maní como energía, y así predijera el uso futuro de biocombustibles.

Durante la segunda guerra mundial, y ante la escasez de combustibles fósiles, se destacó la investigación realizada por Otto y Vivacqua en el Brasil, sobre diésel de origen vegetal, pero fue hasta el año de 1970, que el biodiésel se desarrolló de forma significativa a raíz de la crisis energética que se sucedía en el momento, y al elevado costo del petróleo.

Las primeras pruebas técnicas con biodiésel se llevaron a cabo en 1982 en Austria y Alemania, pero solo hasta el año de 1985 en Silberberg (Austria), se construyó la primera planta piloto productora de biodiésel a partir de semilla de colza).

1970. El biodiésel se desarrolló de forma significativa a raíz de la crisis energética y el elevado costo del petróleo.

1982. En Austria y Alemania, se llevaron a cabo las primeras pruebas técnicas con este combustible vegetal.

1985. En Silberberg (Austria) se construyó la primera planta piloto productora de biodiésel a partir de las semillas de colza o canola.

Actualmente Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia son pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiésel en automóviles.

2.1.3. Propiedades y especificaciones del biodiésel.¹

Los componentes básicos de los aceites y grasas son los triglicéridos, los cuales

¹ Ciria Ignacio J.; Propiedades y características de combustibles diésel y biodiésel; <http://www.wearchekiberica.es/prpiedades.com>.

proviene tanto de ácidos grasos saturados como insaturados. Dependiendo de estas y otras características del origen de los triglicéridos se obtendrá un biodiésel con unas cualidades u otras.

Se deben realizar una serie de ensayos para comprobar: calidad del combustible y el nivel de impurezas remanentes en el proceso de producción del biodiésel.

Para ello existen diferentes normativas tanto en el ámbito de países europeos (Austria, Francia, Italia) como en el ámbito americano (ASTM y NBB) y europeas (EN). Las especificaciones propuestas por algunos de estos comités son las que se describen en la Tabla 1.

El biodiésel puede usarse como combustible para motores Diésel, empleado como sustituto total (B100); también mezclado con diésel, por ejemplo (B30); o en una proporción baja como aditivo del 1 al 5%. Las denominaciones B5, B10, B20, B30, etc. Indican la proporción (%) de biodiésel utilizado.

El biodiésel es 100% biodegradable; si se lo vierte en la tierra, en aproximadamente 21 días desaparece completamente; además su toxicidad es inferior a la de la sal común de mesa. Posee la propiedad de prolongar la vida útil de los motores, ya que tiene mayor lubricidad que el diésel (algunos expertos aseguran que puede duplicar la vida útil del motor). Mientras mayor sea el porcentaje de biodiésel usado, mayor será la reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y de dióxido sulfuroso (SO_2), de tal manera que se puede reducir hasta un 100 %.

En lo referente a la normativa sobre biodiésel, el Subcomité Técnico de Petróleo del Instituto Ecuatoriano de Normalización – INEN se encuentra preparando una norma

técnica expresa que contenga los requerimientos impuestos al biodiésel la cual se espera se oficialice a comienzos del 2010.

Tabla 1. Propiedades y especificaciones del diesel y biodiésel

Parámetro	Norma	Unidades	Diesel #2	Biodiesel		
			UNE EN 590*	ASTM PS 121:99 ^o	Limite CEN/TC 19**	Limite NBB***
Densidad (15°C)	ASTM D 1298 EN ISO 3104	g/cm ³	0,820 - 0,845	0,860 - 0,900	0,860 - 0,900	
Viscosidad Cinemática 40°C	ASTM D 445 EN ISO 3104	cSt	2,0 - 4,5	1,9 - 6,0	3,5 - 5,0	1,9 - 6,0
Punto inflamación V/C	ASTM D 93 ISO/CD 3679	°C	55 min.	100 min.	101 min.	130 min.
Destilación 10% Destilación 90%	ASTM D 86 EN ISO 3405	°C	282 máx. 345 máx.	282 máx. 345 máx.		282 máx. 360 máx.
Corrosión al cobre	ASTM D 130 EN ISO 2160	-	clase 1	Nº 3 máx.	clase 1	Nº 3 máx.
Numero de Cetano	ASTM D 613 EN ISO 5165	-	51 min.	40 min	51 min	47min.

Fuente: J. Ignacio Ciria.¹

2.1.4. Emisiones por la combustión del biodiésel.

Dada la relación encontrada entre las emisiones de material particulado y altos niveles de aromáticos y azufre en el combustible, se ha dado cabida a los estudios sobre combustibles alternativos al diésel que reduzcan su efecto sobre la salud de la población humana. Una de las alternativas es el biodiésel, sea éste usado como único combustible o mezclado con el diésel de petróleo.

Varios estudios, entre ellos los de Wang (Wang, 2000), han mostrado reducciones del 25% en las emisiones en motores no modificados al usar mezclas de 35% de biodiésel de soja (0.002% S, 0% aromáticos, 11% O₂) con diésel de petróleo, con respecto al diésel de petróleo (0.04% S, 30% aromáticos, 0.006% O₂). Los estudios sugieren que la reducción en la emisión de material particulado se debe al contenido de oxígeno de la mezcla de biodiésel, el cual sustituye al oxígeno del aire en las regiones de mezcla ineficiente del combustible con el aire. El contenido del material orgánico soluble de las partículas, sin embargo, aumenta, debido al biodiésel no

quemado.

Por otro lado, en el estudio de Durbin, (Durbin, 2000), comparando emisiones de biodiésel (40ppm S), mezclas de 20% biodiésel con diésel de petróleo de California (280ppm S), diésel de petróleo de California (330 ppm S, 10% aromáticos) y diésel sintético de bajo azufre (<10ppm S, 10% aromáticos), se encontró que, a pesar de que el biodiésel tuvo las menores emisiones de hidrocarburos totales y de CO en la mayoría de los casos, también presentó las mayores emisiones de material particulado total. De manera similar, la mezcla de 20% biodiésel tuvo emisiones similares o mayores que el diésel de California y el diésel sintético.

Esta probado que el CO₂ es el principal causante del calentamiento global. Utilizando biodiésel al cien por ciento las emisiones se reducen en un 75% y usándolo en mezcla de 20% con petrodiésel común se consigue una reducción de 15%.

El potencial de destrucción de la capa de ozono es notablemente menor, sobre todo si se utiliza B100, las emisiones de sulfatos y óxidos de azufre (componentes principales de la lluvia ácida) son eliminados con el uso de B100

Los contaminantes críticos son notoriamente inferiores, a saber:

- Monóxido de carbono: 50% menos
- Partículas en suspensión: 30% menos.
- Hidrocarburos totales sin quemar: 93% menos.

Esto cobra notoria importancia ya que estos hidrocarburos participan en la formación del smog y destrucción de la capa de ozono.

- Óxidos de nitrógeno: estas emisiones aumentan o disminuyen dependiendo del tipo de motor.

Pero, al no tener azufre, el Biodiésel permite la aplicación de procedimientos destinados a su reducción.

Tabla 2. Emisiones por la combustión del biodiésel

Emission	B100	B20
Carbon Monoxide	-43,20%	-12,60%
Hydrocarbons	-56,30%	-11,00%
Particulates	-55,40%	-18,00%
Nitrous Oxides	5,80%	1,20%
Air Toxics	-60% -90%	-12% - 20%
Mutagenicity	-170,00%	-20%

Fuente: Departamento de Energía de Estados Unidos

2.1.5. Ventajas al utilizar biodiésel.²

El biodiésel es un carburante ecológico que posee grandes ventajas medioambientales:

- **Es un combustible que no daña el medioambiente.**

El Biodiésel no daña el medio ambiente por ser un combustible de origen vegetal en su estado 100% puro.

Para poder usarse se debería efectuar unas pequeñas modificaciones técnicas en los motores Diésel, como sería modificar el compuesto de la goma y/o cauchos del circuito del combustible. Ello es debido a que el biodiésel 100% tiene la particularidad de disolver la goma. Desde los años 90, casi todos los fabricantes de vehículos (principalmente marcas alemanas), ya

² Chica Fernando; Estudio y aplicación del Biodiesel; <http://www.energias-renovables.com>

han sustituido dichos conductos fabricados con materiales plásticos o derivados, que el biodiésel 100% puro no los disuelve.

En España, y ante la imposibilidad de controlar si los vehículos están o no preparados para la utilización de biodiésel 100% puro, se comercializa una mezcla (12% biodiésel +88% gasóleo), y así cualquier vehículo lo puede utilizar sin ningún tipo de problema.

- **Se produce a partir de materias primas renovables.**

El biodiésel se produce a partir de aceites vegetales, vírgenes y reciclados. El aceite vegetal virgen se extrae de la semilla cultivada. El aceite es refinado antes de incorporarlo al proceso de producción del biodiésel. Aunque existen más de trescientos tipos de oleaginosas, las más comunes en la producción de biodiésel son la colza, la soja, el girasol y la palma.

Los aceites reciclados proceden de la recogida de sectores como la hostelería, alimentarios, cocinas domésticas, etc.

Con el reciclaje de los aceites usados, evitamos su vertido, salvaguardando la contaminación de las aguas subterráneas, fluviales y marinas, así como la vida que en ellas habita.

- **No contiene azufre, evita las emisiones de SO_x (lluvia ácida o efecto invernadero).**

El biodiésel no contiene azufre, agente que se encuentra en el gasóleo por su poder de lubricación.

En la actualidad los modernos gasóleos bajos en azufre, por su proceso de desulfuración pierden el poder de lubricación, incrementando el ruido y desgaste de los motores.

Las compañías petroleras deben por este motivo añadir el gasóleo con aditivos químicos y sintéticos para paliar esa anomalía. En Francia se aditiva todo el gasóleo que se comercializa con biodiésel al 2% como aditivo lubricador.

- **Mejora la combustión, reduciendo claramente emisiones de hollín (hasta en un 55% desapareciendo el humo negro).**

Dado que la molécula de biodiésel aporta, por unidad de volumen, más átomos de oxígeno que lo que aporta el mismo volumen de gasóleo convencional, la presencia de inquemados es menor utilizando Biodiésel dado que hay menos moléculas de carbono elemental (hollín) y menos de monóxido de carbono (CO).

- **Produce, durante su combustión menor cantidad de CO₂ que el que las plantas absorben para su crecimiento (ciclo cerrado de CO₂).**

El dióxido de carbono CO₂ que emite a la atmósfera el biodiésel durante la combustión es neutro, ya que es el mismo que captó la planta oleaginosa utilizada para extraer el aceite durante su etapa de crecimiento. Con lo cual, la combustión de biodiésel no contribuye al efecto invernadero, es neutra.

- **No contiene benceno, ni sustancias aromáticas cancerígenas (Hidrocarburos aromáticos policíclicos).**

El biodiésel, como combustible vegetal no contiene ninguna sustancia nociva, ni perjudicial para la salud, a diferencia de los hidrocarburos, que tienen componentes aromáticos y bencenos (cancerígenos). La no-emisión de estas sustancias contaminantes disminuye el riesgo de enfermedades respiratorias y alergias.

- **Es fácilmente biodegradable, y en caso de derrame, no pone en peligro ni el suelo ni las aguas subterráneas.**

El biodiésel, es biodegradable (aprox. 21 días), su origen vegetal lo hace compatible con la naturaleza y la ausencia de compuestos químicos y sintéticos lo hace inocuo con nuestro medio.

- **No es una mercancía peligrosa (el punto de inflamación se encuentra por encima de 110° C).**

El biodiésel tiene su punto de inflamación por encima de 110°C, por eso no está clasificado como mercancía peligrosa, siendo su almacenamiento y manipulación segura.

- **Posee un alto poder lubricante y protege el motor reduciendo su desgaste así como sus gastos de mantenimiento.**

El biodiésel por ser su origen los aceites vegetales, tiene un alto poder de lubricación, alargando la vida de los motores, reduciendo el ruido en los mismos, así como notablemente abaratando los costes de mantenimiento.

Así mismo como característica del biodiésel, cabe reseñar el poder detergente, que mantiene limpios los sistemas de conducción e inyección del circuito de combustible de los motores.

- Un factor importantísimo para el Ecuador es que utilizando el biodiésel mezclado con petrodiesel, se reduce drásticamente la dependencia de aceites importados, es decir que para nuestro país representa la disminución de las importaciones de combustibles y con ello la disminución de la dependencia energética, que surge de las compras de diésel que realizamos a otros países.

Su utilización en mezclas mejoraría la calidad del diésel nacional, y además su producción agrícola amplía el desarrollo agrario, generando mayores fuentes de trabajo y riqueza de largo plazo.

- Proporcionan una fuente de energía reciclable y, por lo tanto, inagotable.
- Revitalizan las economías rurales, y generan empleo al favorecer la puesta en marcha de un nuevo sector en el ámbito agrícola.
- Se mejora el aprovechamiento de tierras con poco valor agrícola y que, en ocasiones, se abandonan por la escasa rentabilidad de los cultivos tradicionales.
- Se mejora la competitividad al no tener que importar fuentes de energía tradicionales.
- Diversificación de la matriz energética.
- El biocombustible es renovable y es biodegradable produce emisiones menos dañinas al medio ambiente que aquellas que producen los combustibles fósiles, no incrementan los niveles de CO₂ en la atmósfera, con lo que se reduce el peligro del efecto invernadero, produce además menos partículas solidas como monóxido de carbono y dióxido de sulfuro, ambas causantes de asma, laringitis y otras enfermedades respiratorias.
- Y por sobre todo, un factor de suma importancia: tiene una temperatura de ignición mucho mayor que la del petrodiesel, haciendo su almacenaje, transporte y despacho mucho más seguro.

2.1.6. Desventajas asociadas al uso del biodiesel.²

El biodiesel también posee grandes desventajas técnicas y medioambientales tales como:

- El costo de producción de los biocombustibles casi dobla al del gasóleo (sin aplicar impuestos). Por ello, no son competitivos sin ayudas públicas.
- Potenciación de monocultivos intensivos, con el consiguiente uso de pesticidas y herbicidas.
- Ampliación de la frontera agrícola a costa de mayor deforestación.
- Riesgo de suplantación de cultivos alimenticios por cultivos para uso energético.
- Cuando incorporamos toda la cadena de producción de biocombustibles (producción de fertilizante para el cultivo, labores agrícolas, transporte, cosecha, almacenamiento, etc.), puede ocurrir que la demanda energética sea importante y así gastar más energía que la producida, y/o emitir mayor cantidad de CO₂ y NO_x a la atmósfera. En el mediano plazo esto es inviable, y no serían recomendables los biocombustibles.
- El Biodiésel también presenta algunas desventajas en el vehículo que lo utiliza, entre las que destacan:
 - Su utilización produce la pérdida de potencia del vehículo.
 - Produce un mayor consumo en los vehículos debido a que tiene menos poder calorífico y tarda más tiempo en combustionar.
 - El Biodiésel es incompatible con algunos materiales ya que en estado puro puede llegar a dañar o descomponer el caucho natural, por lo que es necesario sustituir éste por elastómeros sintéticos en caso de utilizar mezclas de combustible con alto contenido de Biodiésel.
 - El impacto ambiental y las consecuencias sociales de su previsible producción y comercialización masiva, especialmente en los países en vías de desarrollo

o del Tercer Mundo generan aumento de la deforestación de bosques nativos, expansión indiscriminada de la frontera agrícola, desplazamiento de cultivos alimentarios y ganadería, destrucción del ecosistema y la biodiversidad, desplazamiento de trabajadores rurales.

- A bajas temperaturas puede empezar a solidificar y formar cristales, que pueden obstruir los conductos del combustible.
- Sus costos aún pueden ser más elevados que los del Diésel de petróleo. Esto depende básicamente de la fuente de aceite utilizado en su elaboración.

2.1.7. Producción del Biodiésel en Ecuador y el Mundo.

2.1.7.1. El Biodiésel en el Mundo.

En el mundo moderno se empieza a utilizar bioetanol en diversas mezclas con gasolina (puede usarse hasta 10-15% de etanol sin alterar el vehículo), mientras que en los motores a Diésel empieza a usarse mezclas con biodiésel. Los países europeos hablan ya de un nivel de reemplazo de biodiésel de hasta un 20% en el diésel fósil.

Actualmente el biodiésel es producido comercialmente en Europa (aceite de colza), Malasia, Indonesia y Brasil (aceite de palma), Argentina, Estados Unidos y Canadá (aceite de soya). Esta industria se encuentra en un nivel mucho más avanzado en Europa y Estados Unidos, donde se producen 2.000 millones y 1.000 millones de litros (7.700 millones y 3.850 millones de galones) de biodiésel por año, respectivamente.

La siguiente tabla muestra los principales países de Europa productores de biodiésel:

Tabla 3. Países de Europa productores de biodiésel

PAÍS	CAPACIDAD INSTALADA [tn/año 2000]	PRODUCCIÓN [tn/año 2000]
Alemania	550.000	415.000
Francia	290.000	286.000
Italia	240.000	160.000
Bélgica	110.000	86.000
Inglaterra	2.000	2.000
Austria	20.000	20.000
Suecia	11.000	6.000
Checoslovaquia	47.000	32.000
Total	1.270.000	1.005.000

Fuente: SAGPyA, en base a "Biodiésel"³

En la actualidad el biodiésel es utilizado en muchos países del mundo; por ejemplo en Alemania, Austria y otros países de Europa central están utilizando Biodiésel puro (100%); Los franceses usan mezclas de biodiésel en porcentajes bajos (5%); en los EE.UU. se venden mezclas de biodiésel; en Japón existe gran interés por producir y utilizar este producto; de igual manera ocurre en Latinoamérica, donde los principales productores de biodiésel son Brasil, Argentina y Ecuador.

Países como Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia son pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiésel en automóviles. En Europa, es producido principalmente a partir del aceite de la semilla de canola, el cual es utilizado en las máquinas Diésel puro o mezclado con aceite diésel, en proporciones que van desde un 5% hasta un 20%, generalmente. En Alemania y Austria se usa puro para máximo beneficio ambiental.

³ Corradini F. Eugenio; Biodiesel el pasado del futuro; SAGAPyA.

En la Unión Europea se estipuló que para 2005, el 5% de los combustibles debe ser renovable, porcentaje que deberá duplicarse para 2010: En Francia, todos los combustibles diésel poseen un mínimo del 1% de biodiésel. En Alemania, el biocombustible se comercializa en más de 350 estaciones de servicio y su empleo es común en los cruceros turísticos que navegan en sus lagos.

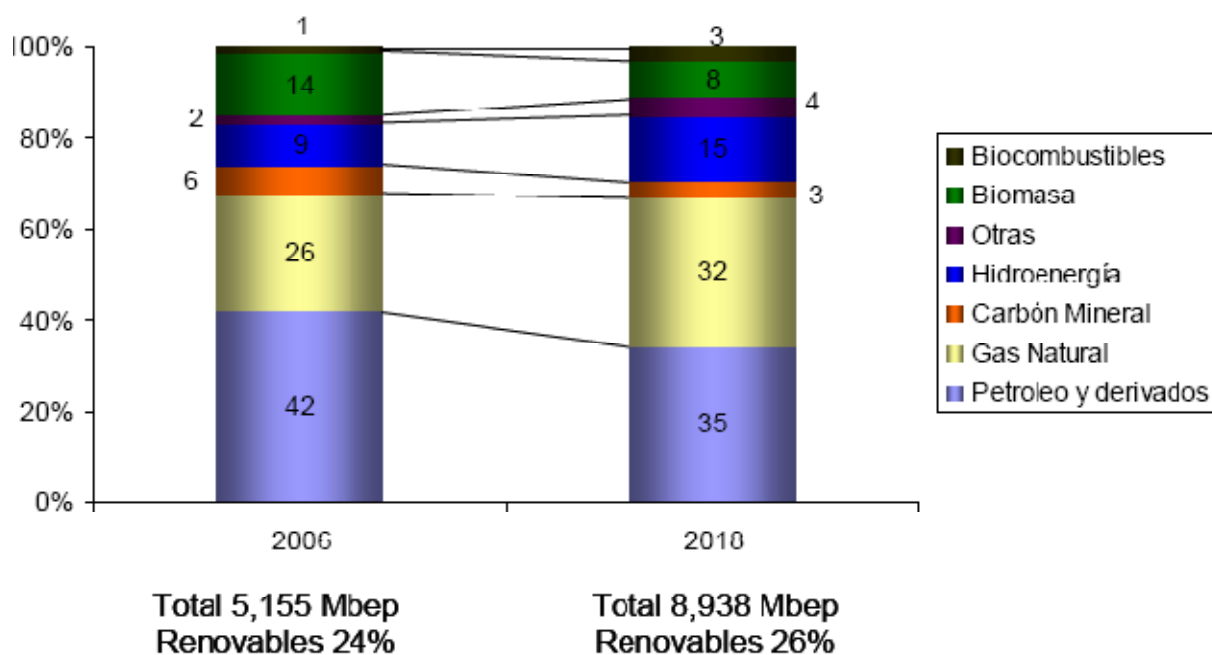
En Europa y los EE UU, el biodiésel es producido y utilizado en cantidades comerciales. En 1998, se designó al biodiésel puro ("B100" - 100%), como un combustible alternativo y estableció un programa de créditos para el uso de biodiésel. Sin embargo el biodiésel mezclado, cuya forma más común se llama B20 (20% biodiésel, 80% diésel convencional), no ha sido designado como un combustible alternativo.

Varias flotas de buses escolares y de transporte público están usando biodiésel en los EE UU. Según, el uso del biodiésel como un combustible alternativo (esto es, en su forma pura) no se espera que sea importante, pero como una mezcla puede aumentar en los EE UU y en otras partes, aunque quizá principalmente en flotas cautivas con llenado de combustible central o nicho de mercado en áreas ambientales sensibles.

2.1.7.2. El biodiésel en el Ecuador.

En América Latina y el Caribe se producen biocombustibles por lo menos en diez países: Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guatemala, Honduras, México, Paraguay y Perú, y esta comandada por Brasil y Colombia. Brasil tiene vasta experiencia en producción de bioetanol, que se obtiene esencialmente a partir de caña de azúcar. Colombia cuenta con fuerte capacidad instalada de refinación de aceite de palma en todo el territorio e investiga otras oleaginosas como la colza.

A continuación se muestra la matriz energética de América Latina y el Caribe, y con este el estado actual de los biocombustibles en estos países.



Fuente: Olade – Siel.⁴

Figura 1. Estado de los biocombustibles (10-2008) en América Latina y el Caribe

De estos países en, Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Paraguay, Perú, República Dominicana y Uruguay existe un marco legal, mientras que en Chile, Ecuador, El Salvador y Panamá las leyes aun están en preparación y en Guatemala y Nicaragua existen leyes en revisión:

Existen programas en marcha en casi todos los países y por lo tanto la lista de productores se encuentra en continuo aumento.

En los países que poseen un marco legal se están utilizando los siguientes porcentajes en mezclas de biodiésel y bioetanol:

⁴ Organización Latinoamericana de Energía; Estado de los biocombustibles en América Latina y el Caribe.

Tabla 4. Mezclas biodiésel utilizado en América Latina

PAÍS	Mezcla Biodiesel - Diesel
Argentina	B5
Bolivia	B2,5 - B20 en 10 años
Brasil	B2:2008;B3:07/08;B5:2013
Colombia	B5
Perú	B2 – B5

Fuente: Olade – Siel⁴

El uso de combustibles fósiles en Ecuador ha estado en constante aumento en las recientes décadas. En particular su uso en vehículos ha crecido tanto por el aumento del parque automotor como por el hecho que los combustibles fósiles presentan un subsidio en el país.

En Ecuador, se incorporó en las políticas nacionales el apoyo al uso de biocombustibles por medio del Decreto Ejecutivo 2332, Registro Oficial 482, Diciembre 2004. En él se declara de interés nacional la producción, comercialización y uso de biocarburantes como componentes de los combustibles que se consumen en el país, y se crea el Consejo Consultivo de Biocombustibles. Sin embargo, y a pesar de proyectos planteados, no se ha cristalizado hasta la presente proyecto alguno.

Nuestro país es el tercer productor de combustibles alternativos en Sudamérica, a través de la empresa productora de grasas y aceites La Fabril (Manta), que está entre los principales exportadores de este producto. La Fabril se encuentra produciendo biodiésel a partir de aceite refinado de palma africana y su principal comprador es la empresa Earth First Technologies, de la Florida en EE.UU.; de igual forma se están negociando con Europa y Malasia.

La producción anual de diésel 2 en las refinerías del país, es de aproximadamente 12'000.000 Bls. y la demanda anual constituida por los sectores automotriz, eléctrico,

industrial y pesquero es de aproximadamente 25'000.000 Bls, debiendo el déficit cubrir PETROECUADOR mediante importaciones, las cuales se realizan en condiciones Costo y Flete Esmeraldas.

La demanda de diésel 2 a nivel nacional - todos los sectores – en el año 2007 fue de 24.854.000 Bls/año, En el supuesto que se requiriera remplazar (blending) un 5% de este volumen BD5%, se requerirá aproximadamente: 3,405 bls de Biodiésel/día lo que equivale a 1.242.700 bls Biodiésel/año y esto a aproximadamente 200.000 TM aceite de palma.

La producción anual de nuestro país en el año 2007 fue 396 000 TM de aceite de palma.

Biodiésel de palma aceitera es el más desarrollado en Ecuador. El Ecuador produce alrededor de 350.000 TM de aceite de palma africana de las cuales se exporto cerca 150000 TM, con una área de producción de 200 mil hectáreas.⁵

Tabla 5. Producción mundial y ecuatoriana de aceite de palma

Nº.	PAIS	2004 (miles de ton)	2007 (miles de ton)
1	Indonesia	12380	17180
2	Malasia	13974	15950
3	Tailandia	735	950
4	Nigeria	790	835
5	Colombia	630	775
6	Ecuador	279	396
7	Nueva Guinea	345	380
8	Costa de Marfil	270	320
	Otros	1528	1886
	TOTAL	30985	38662

Fuente: Oil World FEDEPALMA ANCUPA-ECUADOR.⁶

⁵ Barriga R. Alfredo; Producción y uso del Biodiesel en el Ecuador; ESPOL

⁶ Oil World FEDEPALMA ANCUPA-ECUADOR; Biodiesel una perspectiva empresarial.

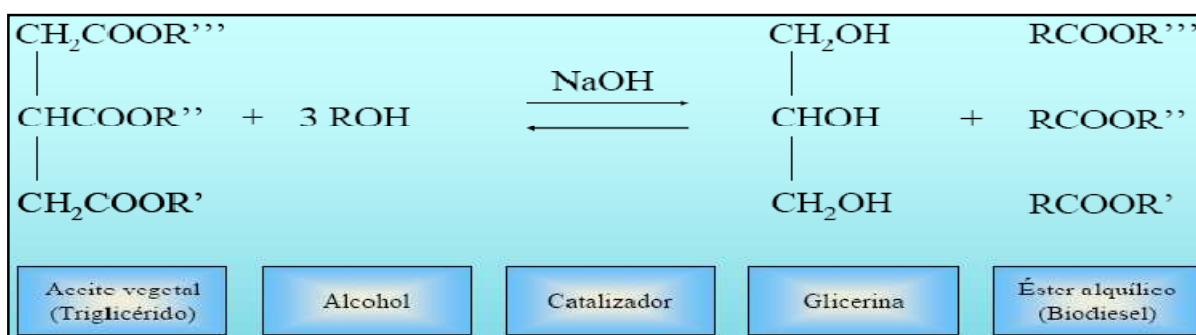
2.1.8. Procesos de Fabricación.²

En la actualidad existen diversos procesos industriales mediante los cuales se pueden obtener biodiésel. Los más importantes son los siguientes:

- 1. Proceso base-base, mediante el cual se utiliza como catalizador un hidróxido. Este hidróxido puede ser hidróxido de sodio (sosa cáustica) o hidróxido de potasio (potasa cáustica).
- 2. Proceso ácido-base. Este proceso consiste en hacer primero una esterificación ácida y luego seguir el proceso normal (base-base), se usa generalmente para aceites con alto índice de acidez.
- 3. Procesos supercríticos. En este proceso ya no es necesario la presencia de catalizador, simplemente se hacen a presiones elevadas en las que el aceite y el alcohol reaccionan sin necesidad de que un agente externo como el hidróxido actúe en la reacción.
- 4. Procesos enzimáticos. En la actualidad se están investigando algunas enzimas que puedan servir como aceleradores de la reacción aceite-alcohol. Este proceso no se usa en la actualidad debido a su alto coste, el cual impide que se produzca biodiésel en grandes cantidades.

En el proceso base – base que fue el procedimiento llevado a cabo para la elaboración del biodiésel utilizado en el presente trabajo de tesis, el biodiésel se produce por la reacción del aceite vegetal con etanol o metanol, en presencia de un catalizador como NaOH o KOH, generando el ester etílico o metílico, y como subproducto glicerol. El proceso se denomina de transesterificación.

El proceso de transesterificación básicamente consiste en el mezclado del aceite vegetal o grasas con un alcohol ligero (generalmente metanol) y un álcali (soda cáustica). Al cabo de un tiempo de reposo, se separa por decantación el biodiésel de su subproducto glicerol, es decir deja como residuo glicerina que puede ser utilizado para la fabricación de más de mil productos diferentes, entre ellos la glicerina y la mayoría de los productos de belleza en la industria cosmética.



Fuente: Producción de biodiésel; EPN⁷.

Figura 2. Reacciones químicas de transesterificación

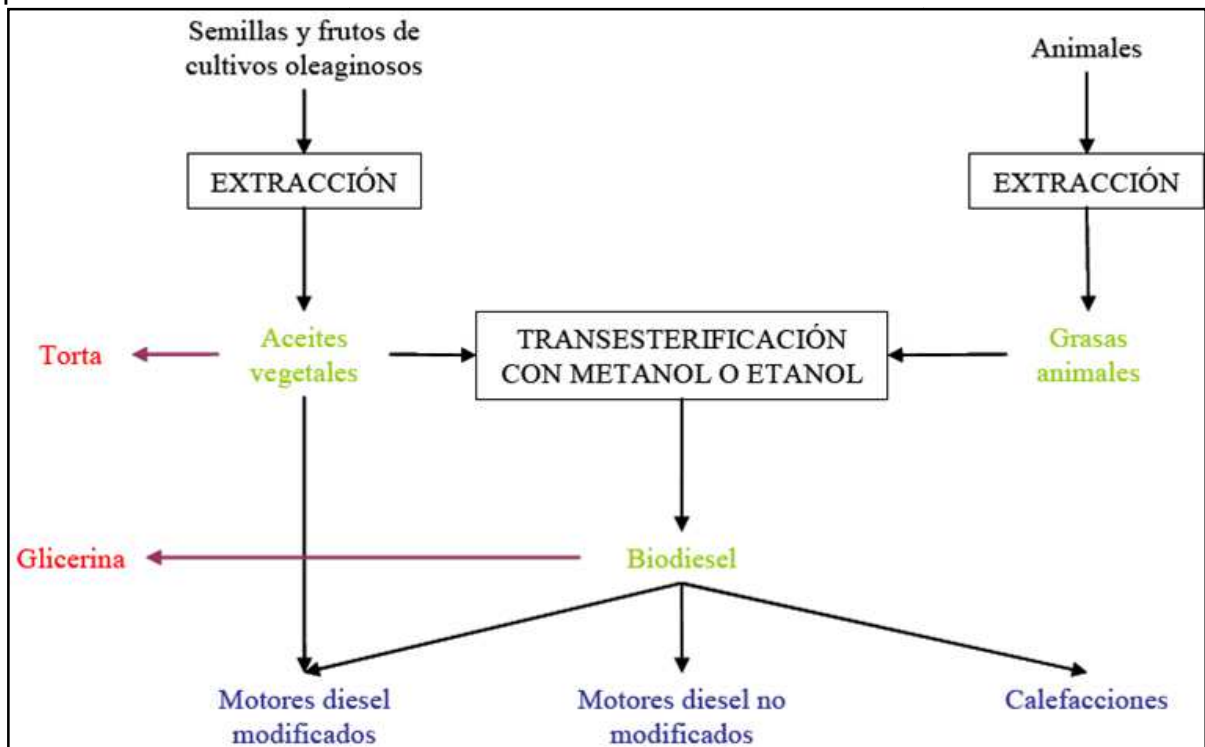
Aunque existen aproximadamente 300 especies de oleaginosas, las materias primas con las que se produce habitualmente el biodiésel son:

1. Palma.
2. Palmiste.
3. Girasol.
4. Colza.
5. Soja.
6. Aceites vegetales reciclados.
7. Grasas animales.

⁷ Parreño Miguel; Producción de biodiésel; EPN

Los principales aceites utilizados en nuestro país para biodiésel son: palma, colza, soya.

Ya que presentan buena disponibilidad y las mejores características técnicas para el proceso de transesterificación.



Fuente: Oil World FEDEPALMA ANCUPA-ECUADOR

Figura 3. Fases de producción y comercialización de Biodiésel

2.1.9. Costos del biodiésel.⁴

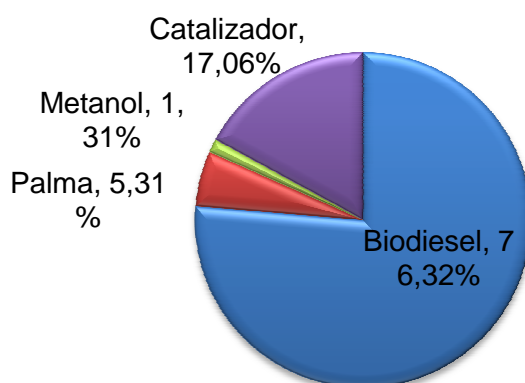
Al momento no existe la suficiente producción a nivel mundial y su costo supera en el doble al del diésel (en nuestro país); pero al ser un producto que se encuentra en auge, es de suponer que aumentará su producción y bajará su precio. En el Ecuador el diésel es subsidiado por el Estado de tal manera que los costos reales son aproximadamente iguales.

Tabla 6. Precios de biocombustibles

Combustible (galón en USD)	Precio sin incluir costo de transporte hacia Floreana	Precio incluyendo costo de transporte hacia Floreana
Oleína de Palma	3,4	4,29
Piñon	2,76	3,65
Biodiesel	4,8	5,29

Fuente: La Fabril.⁴

Utilizando el proceso base – base y como catalizador el hidróxido de sodio tenemos los siguientes costos: el costo del biodiésel el 76,32% corresponde al aceite de palma, el 5,31% al metanol, el 1,31% al catalizador y el 17,06% es el costo de la transesterificación.



Fuente: La Fabril.⁴

Figura 4. Costos del biodiésel.

El costo por cada tonelada métrica de biodiésel es 1055,10 USD

Tabla 7. Costo de la tonelada métrica de biodiésel.

	CONSUMO TM/TM BIOD	PRECIOS US \$/TM	COSTO US \$/TM BIOD
Aceite vegetal (Palma RBD)	1,0458	770,0	805,23
Metanol	0,1400	400,0	56
Catalizador	0,0140	990,8	13,87
Valor de Transf.			180,00
TOTAL COSTO BIODIESEL x TON			1055,10

Fuente: Oil World FEDEPALMA ANCUPA-ECUADOR.⁴

2.2. Marco Teórico para el control calidad de combustibles

2.2.1. Gravedad API y peso específico.

La medida de grados API es una medida de cuánto pesa un producto de petróleo en relación al agua. Si el producto de petróleo es más liviano que el agua y flota sobre el agua, su grado API es mayor de 10. Los productos de petróleo que tienen un grado API menor que 10 son más pesados que el agua y se asientan en el fondo.

Todos los valores son medidos a 60 °F (15.6 °C).

La gravedad API es un factor que gobierna la calidad del petróleo crudo y sus productos, esta característica es una propiedad incierta de su calidad a menos que sea correlacionada con otras propiedades

La **gravedad API**, de sus siglas en inglés *American Petroleum Institute*, es una medida de densidad que describe que tan pesado o liviano es el petróleo comparándolo con el agua. La gravedad API es también usada para comparar densidades de fracciones extraídas del petróleo. Por ejemplo, si una fracción de petróleo flota en otra, significa que es más liviana, y por lo tanto su gravedad API es mayor. Matemáticamente la gravedad API no tiene unidades. Sin embargo siempre al número se le coloca la denominación grado API. La gravedad API es medida con un instrumento denominado hidrómetro. Existen una gran variedad de estos instrumentos.

2.2.1.1. Formula de la gravedad API.

La formula usada para obtener la gravedad API es la siguiente:

$$\text{Gravedad API} = (141,5/\text{GE a } 60\text{ }^{\circ}\text{F}) - 131,5 \quad (1)$$

La formula usada para obtener la gravedad específica del líquido derivada de los grados API es la siguiente:

$$GE \text{ a } 60^\circ F = 141,5 / (Gravedad \text{ API} + 131,5) \quad (2)$$

60°F es usado como el valor estándar para la medición y reportes de mediciones.

Generalmente hablando, un mayor valor de gravedad API en un producto de refinería representa que este tiene un mayor valor comercial. Esto básicamente debido a la facilidad (operacional y económica) de producir destilados valiosos como gasolina, jet fuel y gasóleo con alimentaciones de crudos livianos y a los altos rendimientos de los mismos. Esta regla es válida hasta los 45 grados API, más allá de este valor las cadenas moleculares son tan cortas que hacen que los productos tengan menor valor comercial.

2.2.2. Densidad específica o relativa

Fue la primera que se utilizó para catalogar los combustibles líquidos. Los combustibles se comercializan en volumen, por ello es importante saber la densidad que tienen a temperatura ambiente.

Se define la densidad específica como:

$$\text{Densidad específica o relativa} = \text{densidad absoluta de un producto (a una temperatura)} / \text{densidad del agua líquida (a } 4^\circ\text{C)}. \quad (3)$$

La escala más comúnmente utilizada es la escala en grados API (a 15°C).

API definió sus densímetros perfectamente, estableciendo sus características y dimensiones en las especificaciones.

Las densidad específicas o relativas de los combustibles líquidos varían, pero los más ligeros serán los que tengan menor contenido en átomos de carbono. De este modo, las gasolinas serán las que tengan menor densidad específica, mientras que los fuelóleos serán los que mayor densidad específica tengan. Esto se comprueba con los siguientes datos:

- Gasolinas: 0,60/0,70
- Gasóleos: 0,825/ 0,860
- Fuelóleos: 0,92/1

Es importante conocer la densidad específica y la temperatura a la que se midió, porque los combustibles líquidos, como ya dijimos, se comercializan midiendo su volumen, el cual va a variar con la temperatura.

2.2.3. Punto de inflamación.⁸

El punto de inflamación es la temperatura mínima necesaria para que un material inflamable desprenda vapores que, mezclados con el aire, se inflamen en presencia de una fuente ígnea, para volverse a extinguir rápidamente o no por sí sola.

El punto de inflamación, es la temperatura leída en el termómetro cuando los vapores que aparecen en la superficie del producto se inflaman al paso de una flama. La verdadera inflamación no debe ser confundida con un halo azulado que a veces rodea la flama de prueba.

Este dato indica la temperatura mínima a que debe estar el combustible para que emita vapores que al contacto de una llama se inflamen. El conocimiento del punto

⁸ Villalta Juan: Motor Diesel; Inyección y Combustión; pp 63.

de inflamación sirve para prever el peligro de encendido al manipular combustibles.

No debe confundirse el punto de inflamación con el punto de encendido. El primero indica inflamación provocada con auxilio de una llama, y el segundo indica encendido sin ayuda de llama alguna, o sea solo por contacto con el aire caliente de la cámara de combustión.

El punto de inflamación nos da una idea de la cantidad de compuestos volátiles o muy volátiles que puede tener un combustible. Teniendo en cuenta el punto de inflamación podremos estimar cuales van a ser las condiciones de almacenamiento de ese combustible. Según como vayan a ser las condiciones de almacenamiento, el punto de inflamación se determinará en vaso abierto Cleveland o en vaso cerrado Perski-Maters

2.2.4. Índice de cetano calculado.⁹

El índice de cetano es una indicación de la calidad de ignición del combustible diésel, se puede determinar por comparación con mezclas de cetano bajo condiciones estandarizadas de prueba, sin embargo existe un método simplificado para “calcular” el índice de cetano con los datos fáciles de determinar en el laboratorio y que son la densidad y la temperatura de destilación del 50% de la muestra y corregir con estos datos en la tabla respectiva.

Un combustible diésel de mediana calidad debe tener un índice de cetano de 40 y uno de buena calidad superior a 45, típicamente los motores se diseñan para utilizar índices de cetano de entre 40 y 55, debajo de 38 se incrementa

⁹ Villalta Juan: Motor Diesel; Inyección y Combustión; pp 60 - 61.

rápidamente el retardo de la ignición.

Si se compara el retardo de la inflamación del combustible con el retardo que necesita una mezcla de cetano (que es una proporción de cetano y alifametilnaftaleno) se obtiene lo que se llama índice de cetano o número de cetano de un combustible (que viene a ser la proporción de cetano que quema igual es decir con el mismo avance).

Así pues el índice de cetano mide la facilidad con que se prepara a quemar un combustible. Cuanto más elevado sea el índice de cetano mas disminuye el retardo y por consiguiente, requiere un avance más corto a igualdad de carga, régimen y demás condiciones.

Con aditivos especiales (por ejemplo el nitrato de amilo) se puede mejorar un combustible elevando el índice, pero esos aditivos que el mercado ofrece son siempre caros y solo pueden tener objeto en competiciones deportivas. Llevan nombres comerciales y no siempre son beneficiosos para el motor. En todo caso, si se emplea aditivo, la puesta a punto del avance debe hacerse de nuevo y no vale ya la guía que da el fabricante, lo que representa un inconveniente.

El índice de cetano es un medio para determinar la calidad de la ignición del diésel y es equivalente al porcentaje por volumen del cetano en la mezcla con heptametilnonano, la cual se compara con la calidad de ignición del combustible prueba (ASTM D-613).

El índice de cetano es una propiedad muy importante, sin embargo existen otras relevantes que caracterizan la calidad del combustible.

Así como el octano mide la calidad de ignición de la gasolina, el índice de cetano

mide la calidad de ignición de un Diésel. Es una medida de la tendencia del diésel a cascabelear en el motor.

El índice de cetano es una propiedad muy importante, sin embargo existen otras relevantes que caracterizan la calidad del combustible

2.2.5. Viscosidad.¹⁰

Teóricamente la viscosidad es una propiedad físico - química de carácter intensivo, que es característica de los fluidos y representa la resistencia entre las capas de un fluido para su libre desplazamiento.

Por viscosidad se entiende el grado de consistencia comparado con el agua pura o dificultad de paso por un orificio. Se comprende que la viscosidad es un punto muy importante, porque el combustible debe inyectarse a través de pequeños orificios. Se mide generalmente en grados Engler (°E) aunque la medida reconocida internacionalmente es el centiStoke (cSt).

Una viscosidad excesiva perjudica mucho el funcionamiento y la vida de la bomba de inyección y del inyector, y modifica la presión de inyección facilitando la descomposición del combustible y la formación de lacas y gomas que empastan y pegan aros y obstruyen orificios. Una viscosidad escasa provoca dificultades en la estanqueidad de los pistones de inyección y en el autoengrase de estas partes del inyector.

Hay que decir que la viscosidad que realmente interesa no es la viscosidad a 20°C, que no es nunca la de trabajo, sino la viscosidad que presenta el combustible a la temperatura a que trabajan los conductos de impulsión que

¹⁰ Villalta Juan: Motor Diesel; Inyección y Combustión; pp 54.

suelen ser de 70 a 90 °C en los motores rápidos y de 40 a 60 °C en los lentos. Esto permite comprender que un combustible algo más espeso se quema bien, si se establece un circuito de circulación continua para mantenerlo a la temperatura adecuada.

La viscosidad se mide generalmente con el viscosímetro de Engler. En este aparato se controla el tiempo que tarda en salir por el agujero una determinada cantidad de combustible.

Dividiendo este tiempo por lo que tarda en pasar una misma cantidad de agua, se obtiene un número denominado Grado Engler (°E). Mientras más alto sea este número más viscoso es el combustible.

Esta medición se acostumbra a hacer a una temperatura de 20 °C. Pero cuando el combustible es muy viscoso, se da la viscosidad a 30°, 50°, 80°, etc., porque la viscosidad disminuye cuando la temperatura aumenta. De ello se desprende que el grado de viscosidad de un combustible debe darse junto con la temperatura a que se efectúa la medición.

Se deben tener en consideración tres importantes aspectos respecto a la viscosidad de un combustible.

- La viscosidad ha de ser suficientemente baja para que el combustible pueda fluir a la temperatura más fría a que debe ser almacenado y trasvasado. En caso contrario o en países fríos, deben instalarse dispositivos para calentar los depósitos y tuberías.
- La viscosidad a su vez ha de ser lo suficientemente elevada para que el combustible tenga cualidades lubricantes, a fin de engrasar las piezas de la bomba de inyección, y evitar pérdidas por las toberas y la bomba.

- La viscosidad ha de ser la adecuada para que al ser inyectado en el motor, el combustible se pulverice con rapidez.

La tabla a continuación da los valores medios y límites de viscosidad para combustibles Diésel.

Tabla 8. Límites de viscosidad para combustibles Diésel.

TIPO DE MOTOR	VELOCIDAD	VISCOSIDAD EN GRADOS ENGLER A 38 ° C		
		Valores medios	Límite inferior	Límite superior
Motores rápidos	>1000rpm	1,33 – 2,87	1,1 – 1,47	1,47 – 7,35
Motores semirrápidos	500 – 1000 rpm	1,51 – 2,75	1,1 – 1,65	2,75 – 7,35
Motores lentos	< 500 rpm	1,54 – 3,67	1,1 – 2,02	2,75 – 8,08

Fuente: CEAC Motor Diésel¹¹

La fluidez es la inversa de la viscosidad. Por ello la medida de la viscosidad es importante porque nos va a dar una idea de la fluidez del combustible. La viscosidad es muy importante en el caso de los fuel-oils, ya que éstos se clasifican siguiendo criterios de viscosidad a una determinada temperaturas.

La unidad de la viscosidad es el Poise: $\text{g.cm}^{-1}.\text{s}^{-1}$.

La viscosidad cinemática se define como:

$$\text{Viscosidad cinemática} = \text{viscosidad dinámica} / \text{densidad a la misma temperatura} \quad (4)$$

La viscosidad relativa se define como:

$$\text{Viscosidad relativa} = \text{viscosidad absoluta} / \text{viscosidad del agua a } 20^{\circ}\text{C} \quad (5)$$

Para medir la viscosidad en combustibles líquidos se emplea un viscosímetro de vidrio.

¹¹ Villalta Juan: Motor Diesel; Inyección y Combustión; pp. 57.

Existen diversas escalas para expresar la viscosidad de un producto petrolífero y existen también ecuaciones de correlación entre ellas. El hecho de que un combustible (o un líquido en general) tenga la viscosidad muy alta quiere decir que es poco fluido.

2.2.6. Corrosión a la lámina de cobre.¹²

Este método describe el procedimiento para reconocer la presencia de los compuestos corrosivos de azufre en derivados del petróleo.

La presencia de sustancias corrosivas hace que los equipos se deterioren con facilidad ocasionando grandes pérdidas económicas; por esta razón se utiliza la lámina de cobre debido a que este elemento es más susceptible de ser corroído por las sustancias derivadas del petróleo. Para el reporte de resultados utilizamos los estándares comparativos ASTM de corrosión de cobre.

2.2.7. Destilación.

Mediante este método se realizan destilaciones a la gasolina, jet fuel diésel y demás productos similares.

La destilación es un fenómeno físico de separación de los componentes de un producto por vaporización parcial del mismo mediante previo calentamiento.

Es la característica esencial para reconocer si un producto ha sido adulterado y nos permite además hacer las respectivas correcciones en los diferentes cortes, pues de su valor inicial, intermedio y final se concluye sobre las fracciones ligeras o pesadas, los mismos que condicionan la calidad de un producto.

¹² Mancheno A. Rigoberto; Control de calidad de Combustibles Líquidos; pp. 17 – 19.

Parámetros de la destilación: Dependerán del combustible a destilar y son:

- Punto inicial de destilación: IBP: Temperatura a la que cae la primera gota de destilado.
- Punto final de destilación: EBP.
- Volumen de pérdida (P).
- Volumen de residuos (r).
- Volumen de recogido (R).

Si ponemos inicialmente 100 ml, las pérdidas serán $100 - (R + r)$.

Los residuos son los que no son capaces de pasar a fase vapor. Todo lo dicho es referido a una presión de 760 mm Hg. Como la presión del ensayo no va a ser esa, se mide la presión del ensayo y después se hacen las correcciones para que las temperaturas medidas estén referidas a 760 mm Hg.

2.3. Marco teórico del motor de combustión interna.

2.3.1. Motor Diésel.¹³

El motor Diésel data del año 1892, en que el doctor Rudolf Diésel solicitó y obtuvo una patente para un motor encendido por compresión. Cinco años más tarde construyó un motor operativo capaz de desarrollar 25 HP.

Las principales diferencias entre los motores de gasolina y los motores Diésel son el sistema de ignición y las relaciones de compresión. Un motor de gasolina emplea

¹³ Wasdyke Raymond & Snyder Gerald: Motores Diesel Operación Prueba y Evaluación, D4-2 D4-3

una chispa eléctrica para encender la carga combustible, en tanto que un motor Diésel utiliza el calor producido al comprimir aire en la cámara de combustión hasta una presión muy elevada. Al final de la compresión, cuando la temperatura es máxima, se introduce combustible a presión en la cámara de combustión, donde se enciende al contacto con el aire sobrecalentado.

Los motores Diésel pueden operar según los principios de dos o cuatro tiempos.

El motor Diésel de 4 tiempos utilizado en nuestro ensayo funciona con el siguiente principio:

Durante la carrera de admisión, el pistón desciende en el cilindro y la válvula de admisión se abre. El movimiento descendente del embolo hace aumentar el volumen del espacio interior del cilindro reduciendo su presión. El aire, bajo la presión atmosférica, se introduce al cilindro por el hueco de la válvula de admisión a fin de igualar la presión.

Cuando el pistón llega al límite inferior de su carrera (punto muerto inferior) se detiene y entonces se cierra la válvula de admisión. El pistón cambia luego de sentido y asciende en el cilindro en la carrera de compresión. Durante esta carrera se comprime el aire con una relación de 17 a 1 (o bien 17:1) aproximadamente. La relación de compresión en motores de diesel de 12 a 22. La presión en el motor Perkins ensayado es de 43 Kg/cm² y el aire alcanza temperaturas de 425 a 595°C.

Cuando el pistón llega al límite superior de su carrera (punto muerto superior o PMS) se abre la válvula de combustible y se produce la inyección del combustible a presión, dentro del aire sobrecalentado en la cámara de combustión. Las partículas más pequeñas de combustible arden inmediatamente. Esto aumenta la presión y la

temperatura, haciendo que se enciendan sucesivamente partículas de mayor tamaño. Por tanto la combustión total no es instantánea, sino que se extiende en forma de ola o frente de onda, creando así un aumento gradual de presión dentro del cilindro. Los gases, producto de la combustión del combustible incrementan grandemente la presión en el cilindro, impulsando al embolo hacia abajo durante la carrera de combustión - expansión o de potencia. Es durante esta carrera del pistón cuando se suministra potencia al cigüeñal.

Cuando el pistón alcanza su PMI al final de la carrera de fuerza o potencia, se abre la válvula de salida, el pistón se detiene y luego se mueve hacia arriba en la carrera de escape, expulsando los gases de combustión por la abertura de dicha válvula.

El combustible diésel es un derivado de grado comparativamente ligero, del petróleo crudo. Debe tener baja viscosidad (resistencia al escurrimiento) de manera que fluya fácilmente a través del sistema de bombeo e inyección y se atomice o vaporice al ser inyectado en la cámara de combustión. Si fuera demasiado viscoso, no se fraccionaria en partículas demasiado finas, y en consecuencia, la combustión seria incompleta e irregular el funcionamiento del motor. Por otra parte, debe tener la suficiente viscosidad para lubricar satisfactoriamente las partes móviles del sistema de combustible y ayudar al sellado de dichas partes para evitar fugas. El diésel se gradúa por el índice o numero de cetano, que es una medida de sus cualidades de ignición. Un bajo número de cetano significa que el combustible debe ser sometido a una temperatura relativamente alta antes de que se encienda. Un número elevado de cetano significa que se encenderá a temperaturas relativamente bajas.

A partir de lo expresado es posible efectuar varias comparaciones entre los motores Diésel y los de gasolina.

- Los motores de tipo Diésel funcionan con mayor economía que los de gasolina. No porque utilicen una clase inferior de derivado del petróleo crudo, sino porque utiliza menor cantidad de combustible y permanece en servicio más tiempo.
- La temperatura de compresión es mucho más elevada en un motor Diésel que en uno de gasolina.
- Los motores Diésel generalmente son más pesados que los de gasolina porque deben soportar relaciones de compresión más elevadas. Esta es una de las razones por las que el costo inicial de los motores Diésel es más alto que el de los motores gasolina.
- Un motor Diésel proporciona un par de rotación más elevado a baja velocidad.

2.3.2. Conceptos generales.

2.3.2.1. Calor añadido.

El calor añadido es la energía que idealmente puede entregar el combustible (Q_a), y se conoce como potencia teórica. La potencia teórica se obtiene (P_{te}):

$$P_{te} = P_c \times mc \left[\frac{Btu}{s} \right] \quad (5)$$

y

$$P_{te} = P_c \times \delta \times vc \left[\frac{Btu}{s} \right] \quad (6)$$

P_c = poder calórico del combustible [Btu/lbm]

δ = densidad del combustible (lbm/cm³)

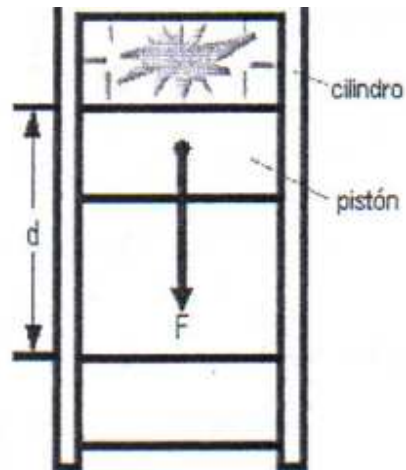
vc = flujo volumétrico de combustible (cm³/s)

mc = flujo másico de combustible (lbm/s)

2.3.2.2. Potencia del motor.

En el motor se distinguen tres clases de potencia: indicada, efectiva, absorbida.

- **POTENCIA INDICADA:** Es la potencia que recibe el pistón durante el ciclo y se calcula con ayuda del diagrama indicado.



Fuente: CCICEV – Quito.¹⁴

Figura 5. Potencia del motor de combustión interna.

Es la fuerza que recibe el pistón cuando ocurre la combustión en el interior del cilindro (figura 5), multiplicada por la distancia recorrida por el pistón en un determinado periodo.

Esta potencia no se aplica totalmente sobre el cigüeñal. Esto se debe a que existen factores como calor, rozamiento, ruido, entre otros, que restan valor a la potencia. Por lo tanto la potencia en el eje siempre será menor.

- **POTENCIA EFECTIVA Y PAR MOTOR:** se calcula con la ayuda de un freno, mediante un banco de pruebas.

Par motor: La fuerza que empuja al pistón mueve la biela haciendo girar al codo del cigüeñal mediante un esfuerzo de torsión que se conoce como Par motor.

¹⁴ Laboratorio de Termodinámica, Facultad de Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito.

Potencia efectiva: El par motor multiplicado por la velocidad de rotación da como resultado la potencia efectiva, conocida también como potencia al freno debido al mecanismo que se utiliza para su medición.

$$Pe = torque \times rpm \quad (7)$$

donde:

torque del motor (Kg-m)

velocidad de rotación del motor (rev / min)

El motor no es capaz de aprovechar toda la transformación de la energía potencial que lleva el combustible.

La potencia efectiva es la potencia que realmente dispone el motor para desarrollar un trabajo. Es la potencia que aparece en el extremo del cigüeñal.

Conocer el valor de la potencia efectiva es de gran importancia, ya que así se conocerá si se puede aplicar el motor para un trabajo determinado.

La potencia efectiva se mide generalmente en caballos y siempre se da juntamente con el número de revoluciones por minuto a que el motor gira cuando desarrolla dicha potencia. Se mide por medio de unos aparatos especiales que se denominan frenos, por esto muchas veces no se dice potencia efectiva de un motor, sino que se dice potencia al freno o potencia útil.

La ecuación para calcular la potencia en CV es:

$$CV = \frac{torque \times rpm}{716,2} \quad (8)$$

$$HP = CV \times 0,9863$$

donde:

T = par de rotación en Kg-m leído directamente en el medidor de carga.

RPM = Es la velocidad angular leída en el tacómetro.

716,2 = es una constante.

Existen principalmente tres tipos de frenos: freno de rozamiento o de Prony, frenos hidráulicos y frenos de aire.

Más adelante, cuando se hable del banco de pruebas se detallará como se obtiene el torque y la potencia en el sistema de freno.

- **POTENCIA ABSORBIDA:** Esta corresponde a la diferencia entre la potencia indicada y la potencia al freno. Generalmente esta es utilizada para vencer el rozamiento entre las superficies (pistones, cojinetes, etc), y para dar movimiento a otros elementos que el motor necesita como: la bomba de agua, el alternador.

2.3.2.3. Consumo de aire.

La velocidad de un motor Diésel se controla variando la cantidad de combustible que se inyecta en la cámara de combustión. El motor Diésel aspira el aire directamente a través del filtro del aire y la válvula de admisión haciéndolo entrar en la cámara de combustión.

El medidor de flujo de aire permite determinar la cantidad de aire que entra al motor en diversas condiciones de operación. El flujo de aire se mide haciendo que el motor lo aspire a través de una boquilla o tobera de precisión, pasando luego a un tambor de amortiguación de pulsos y después por una manguera hasta la toma de aire del motor. Puesto que todo el aire que entra al cilindro ha pasado por la tobera, la intensidad de flujo puede determinarse midiendo la presión a uno y otro lado de dicha tobera o boquilla.

La diferencia de presión que haya en la tobera se mide en pulgadas de agua por medio de un manómetro de líquido que es un instrumento que se utiliza para medir la presión de gases y vapores.

La presión de aire suele expresarse como la altura de columna de agua, en centímetros o pulgadas, que puede soportar. Un centímetro de agua equivale a una presión de 0,001 Kg/cm² y una pulgada de agua a 0,036 lb/plg² se tiene las siguientes equivalencias:

$$1 \text{ plg de agua} = 2.54 \text{ cm de agua} = 0.00254 \text{ Kg/cm}^2 \quad (9)$$

2.3.2.4. Rendimiento de los motores.¹⁵

Todos los motores de combustión interna y, por lo tanto, también el motor Diésel, transforman la energía calorífica que tiene el combustible en energía mecánica. El combustible desarrolla su energía en el cilindro y el motor la transmite al extremo del cigüeñal. Pero existen pérdidas de calor a través de las paredes de los cilindros y que los rozamientos y la resistencia que ofrecen al movimiento las piezas del motor, tales como los cilindros, bielas, etc. Absorben gran parte de la energía que produce el combustible; por lo cual en el cigüeñal no se aprovecha toda la energía que el combustible ha desarrollado en el cilindro.

A la relación que existe entre la energía del combustible y la desarrollada en el árbol del cigüeñal se llama rendimiento del motor. Cuanto menor sea la cantidad de energía que se pierde mayor es el rendimiento del motor. Por esto se dice que un motor es de gran rendimiento cuando la diferencia entre la energía del combustible y

¹⁵ Alonso J M: Sistemas de Inyección de Combustible en los Motores Diesel pp. 169-177.

la que devuelve el motor en el cigüeñal es muy pequeña, es decir cuando se pierde poca energía.

El rendimiento de un motor se calcula dividiendo la energía desarrollada por el motor en el cigüeñal, o trabajo útil, por la energía del combustible, o trabajo suministrado. El valor del rendimiento siempre es menor que la unidad, ya que suponiendo que no hubiese ninguna pérdida, como máximo será igual a 1. También puede expresarse el rendimiento en tanto por ciento, multiplicando por 100.

El rendimiento de un motor se divide en tres clases diferentes, son:

- Rendimiento termodinámico.
- Rendimiento Cualitativo.
- Rendimiento mecánico u orgánico.

El producto de estos tres rendimientos nos da el rendimiento total del motor.

Se llama termodinámica a la ciencia que estudia la transformación de la energía calorífica en energía mecánica. Por lo tanto, rendimiento termodinámico será el máximo aprovechamiento de calor dentro de un ciclo de trabajo, sin tener en cuenta ninguna dificultad práctica.

El rendimiento cualitativo se refiere a la deformación del diagrama anterior por efecto de la imperfección que representa conseguir el ciclo teórico, debido a fugas a través de los aros, pérdidas de velocidad de entrada de aire al cilindro, salida de los gases de escape a través de las válvulas y sus conductos en la culata, todo lo cual es causa de gran pérdida de potencia. Comparando los diagramas teórico y práctico de un motor se observa enseguida que el trabajo práctico cedido es inferior al teórico y su relación nos da el rendimiento cualitativo del motor.

Finalmente, obtenido el ciclo práctico anteriormente citado, por efecto de la explosión y expansión de los gases quemados, el embolo se desplaza y mueve, a través de la biela, la manivela del cigüeñal, con lo cual en el extremo de éste se obtiene una energía que produce la llamada potencia efectiva. El roce de los aros con la camisa o cilindro, la fricción de los cojinetes de los ejes del émbolo, de los cojinetes de cabeza de biela, de las varillas de accionamiento del regulador y del equipo de inyección, etc., absorben gran cantidad de trabajo. Estas pérdidas de energía en los órganos del motor se presentan igualmente en cualquier máquina, por ejemplo, en un torno, una fresadora, etc.

El primer rendimiento, o sea, el rendimiento termodinámico en un motor Diésel tiene un valor de 50%(0,50) aproximadamente.

El rendimiento del diagrama o cualitativo, gracias a la perfección que se ha llegado en los diseños de las cámaras de combustión, la sobrealimentación, mayor número de válvulas, etc. Alcanza del 80% (0,80).

El rendimiento orgánico es quizás en el que se han conseguido más perfeccionamientos gracias a los modernos sistemas de lubricación a presión, la simplificación y eficacia de los mecanismos concebidos por expertos especialistas, por lo cual alcanza hasta el 90% (0,90).

Conociendo los valores de estos tres rendimientos, se puede calcular el rendimiento total de un motor, pues como hemos dicho anteriormente es el resultado de multiplicar los tres rendimientos. Por lo tanto será:

$$\text{Rendimiento total} = 0,5 \times 0,8 \times 0,9 = 0,36 \text{ o bien } 36\% \quad (10)$$

2.3.2.5. Eficiencia.

Si se considera a la potencia teórica, P_{te} , como el 100% de la energía entregada al sistema, se puede obtener diferentes rendimientos o eficiencias del motor como son:

$$\text{Eficiencia termodinámica indicada} = \text{Potencia indicada} / \text{Potencia teórica} \quad (11)$$

$$\text{Rendimiento mecánico} = \text{Potencia efectiva} / \text{Potencia indicada} \quad (12)$$

$$\text{Eficiencia termodinámica o efectiva} = \text{Potencia efectiva} / \text{Potencia teórica} \quad (13)$$

2.3.3. Curvas características

Las curvas características de un motor permiten comparar un motor frente a beneficios y consumos, lo cual ayuda a saber que motor es más rentable según las necesidades que se tiene. Las curvas características del motor, suelen venir incluidas en los folletos técnicos y se refieren a las prestaciones que estos motores suministran en un banco de pruebas (torque, potencia al freno, consumo específico, entre otros).

Los resultados que se obtienen en el banco de pruebas no serán los que se obtienen en la práctica, pero sirven como un elemento comparativo válido, ya que se prueban en condiciones muy cercanas al funcionamiento real.

Las primeras curvas características de motores, que aparecieron hace años, han evolucionado a otras más modernas y favorables gracias a los progresos e innovaciones técnicas adoptadas por los motores modernos: mejor alimentación de aire en los cilindros con el montaje de turbocompresores y sistemas intercooler, mejor barrido de gases de escape con el montaje de 4 válvulas por cilindro, aumento de la presión y sistemas de inyección, montaje de árboles de levas en cabeza, etc.,

pero sobre todo con el control electrónico de los motores y de su citado sistema de inyección, que les permite suministrar la cantidad exacta de combustible requerida y en el momento preciso, obteniendo una combustión mucho más perfecta con mayores prestaciones de par, potencia y menor consumo.

2.3.3.1. Curvas de velocidad.¹⁴

En las curvas de velocidad las revoluciones del motor y la carga varían, mientras el acelerador se mantiene en una misma posición (constante), las curvas de velocidad están dadas en función de las revoluciones y se puede obtener:

- el torque (T) vs. RPM.
- potencia al freno (Pf) vs. RPM.
- eficiencia (n) vs. RPM.
- consumo específico de combustible (c.e.c) vs. RPM.

Las curvas de velocidad sirven principalmente cuando se analiza motores cuya aplicación sea: transporte, maquinaria pesada, vehículos de competencia, etc.

2.3.3.2. Curvas de carga.

En las curvas de carga la velocidad de rotación permanece constante mientras la carga y el acelerador varían, estas curvas están en función de la potencia al freno y se obtiene curvas:

- Consumo específico de combustible (c.e.c) vs. Potencia al freno (Pf).
- Consumo de combustible (c.c) vs. Potencia al freno (Pf).
- Eficiencia (n) vs. Potencia al freno (Pf).

La principal aplicación de estas curvas son los motores de generación de corriente eléctrica y los motores que manejan sistemas de bombeo, debido a que la frecuencia de la energía eléctrica generada es función directa de las revoluciones del motor, además de las características propias del generador. Por lo tanto dependiendo de la utilidad del motor se obtienen las curvas características.

2.3.4. Banco de pruebas.

La capacidad de trabajo y la eficiencia de un motor se determinan midiendo su potencia de salida. Una vez que se conozca esta potencia, el motor podrá utilizarse en aplicaciones que estén dentro de su capacidad. Por tanto, un motor de 3 HP no se emplearía para impulsar un automóvil, ni uno de 100 HP se usaría en una segadora de césped.

Para medir la eficiencia y la potencia de un motor con fuerza motriz rotatoria, generalmente se utiliza un dinamómetro. Este dispositivo mide el par de rotación de un motor transformando el par rotatorio existente en el cigüeñal del mismo, en momento de fuerza, estacionaria.

El banco de pruebas es un equipo que permite obtener, mediante mediciones de los distintos conceptos antes mencionados, las curvas características del motor, para conocer cómo trabaja este.

A continuación se describe totalmente el banco de pruebas y cuáles son los datos a tomarse.

El banco de pruebas consta de cuatro sistemas principales:

1. Sistema de freno
2. Sistema de combustible
3. Sistema de refrigeración
4. Sistema de aire

Se revisará uno por uno, cada sistema visualizando los datos que son necesarios en los cálculos.

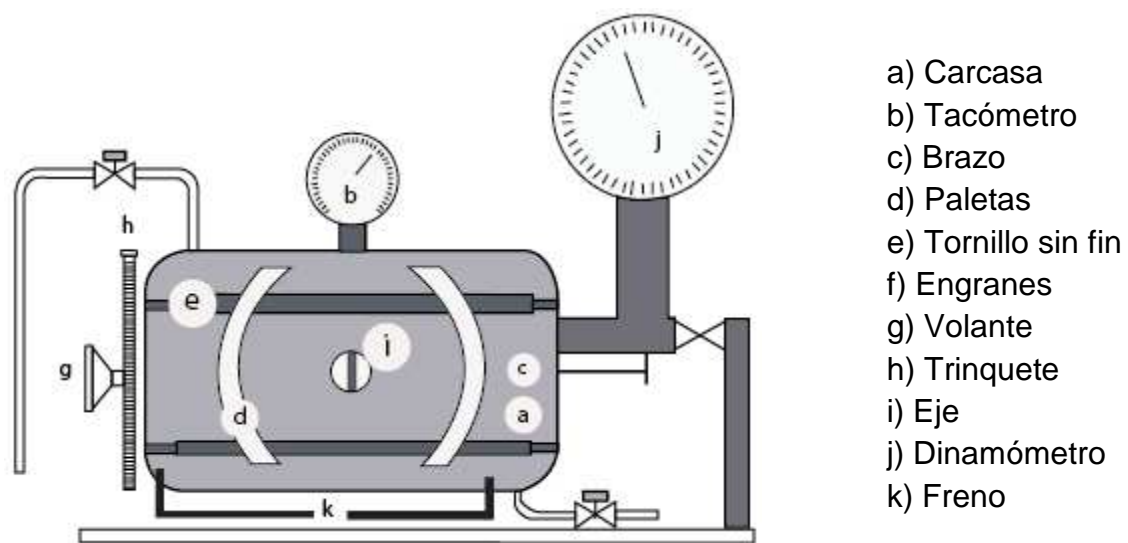
2.3.4.1. Sistema de freno.

Tabla 9. Datos Técnicos.

PATENTET HIDRAULIC DYNAMOMETER	
FRENO	FROUDE
MARCA	HEENAN & FROUDE
PROCEDENCIA	ENGINEERS WORCESTER ENGLAND
SIZE	DPX2
ORDER N°	B47-586
MAX BHP	150
AT RPM	400/7500
BHP	$BHP=(W \times N/4500)$

Fuente: CCICEV – Quito.¹⁴

El sistema de frenado consiste en un equipo que permite simular diferentes condiciones del motor para medir el par motor y la potencia. La figura 6 muestra un esquema sencillo del sistema de frenado del motor Diésel.



Fuente: CCICEV – Quito¹⁴

Figura 6. Esquema del freno hidráulico del motor Diésel.

Cuando el motor gira trata de arrastrar al freno también, el cual se mantiene en equilibrio mediante la fuerza que un resorte de compresión ejerce sobre el freno.

Esta fuerza multiplicada por el brazo produce un par de igual magnitud pero de sentido contrario al del motor, por lo tanto si se obtiene la fuerza que hace el resorte mediante un dinamómetro y si se tiene el brazo se puede calcular el par-motor. Si se añade un tacómetro al sistema se puede obtener la potencia al freno del motor.

Principio de funcionamiento interno del freno: Acoplado al eje del motor se encuentra el freno hidráulico, este consta de una carcasa. Esta se encuentra internamente llena de agua. Además existe un tornillo sin fin por el cual pueden deslizarse dos paletas. El tornillo sin fin se acopla a engranes y estos a un volante.

Con el volante se puede acercar o alejar las paletas, cuando se escoge la posición se aseguran los engranes con un trinquete. Cuando el motor gira, las partículas de agua que estén en contacto con el motor girarán con la misma velocidad, mientras

que las más alejadas del eje y cercanas a las paletas no girarán, provocando un gradiente de velocidades. A medida que se acercan las paletas, el agua tiende a comprimirse y frenar al eje.



Fuente: CCICEV – Quito¹⁴

Figura 7. Fotografía del motor Diésel.

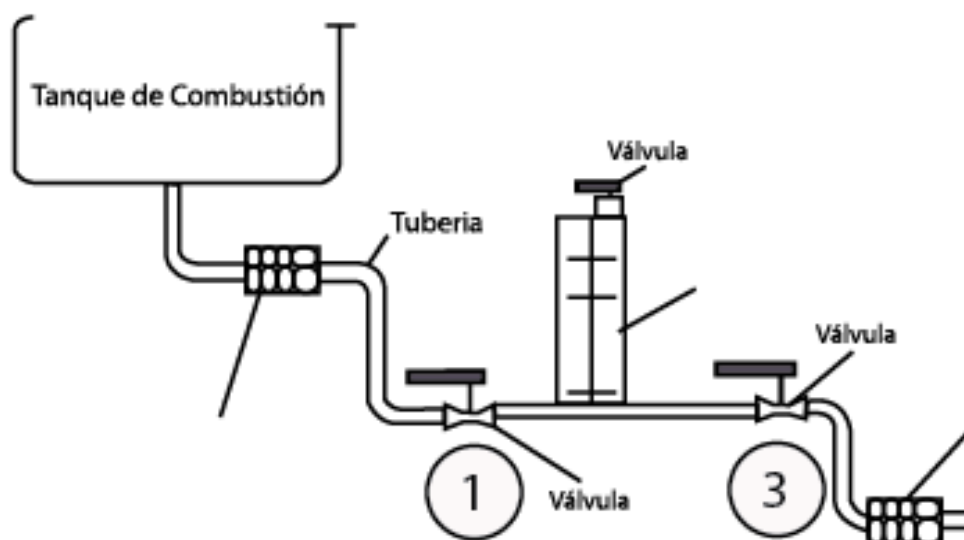
Toma de datos del sistema de frenado: El sistema de frenado para el motor Diésel los datos son los siguientes:

- Número de revoluciones (dato 8): El número de revoluciones por minuto se mide a través de un tacómetro acoplado en el eje del motor. El rango a trabajar debe ser sugerido por el Jefe de Laboratorio.
- La fuerza (dato 9): La fuerza del torque que realiza el motor se mide en el dinamómetro, esta fuerza está dada en libras-fuerza.

Observación general: Todos los datos deben ser tomados cuando el motor se haya estabilizado. Después de que el motor cambia de condición se debe esperar de 3 a 5 minutos mínimo antes de tomar los datos.

2.3.4.2. Sistema de combustible.

En la figura 8 se observa el esquema del sistema de combustible.

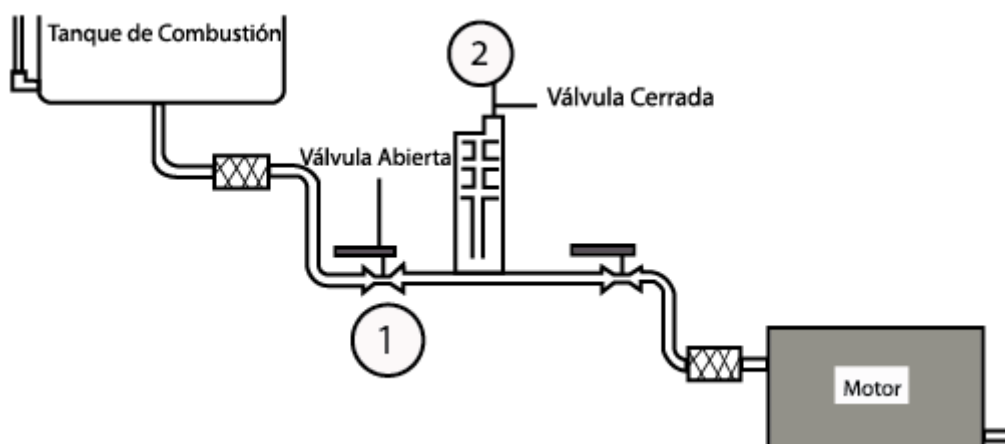


Fuente: CCICEV – Quito¹⁴

Figura 8. Sistema de Combustible.

El combustible viaja por tres circuitos, esto depende de cómo están posicionadas las válvulas 1 y 2.

Circulación general: La válvula 1 abierta, 2 cerrada, ver figura 9.



Fuente: CCICEV – Quito¹⁴

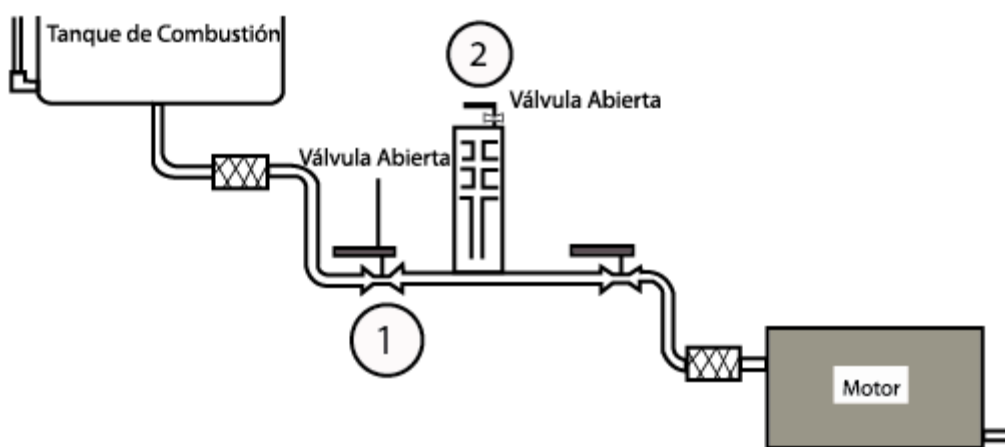
Figura 9. Circulación general.

Cuando la válvula 2 está cerrada, el combustible no circula desde el medidor de caudal.

Por lo tanto el combustible baja por gravedad desde el tanque, atraviesa la tubería, los dos filtros y finalmente llega al motor. Cumple con su servicio y sale por el tubo de escape convertido en gas de combustión.

Recuperación de nivel: La válvula 1 abierta, 2 abierta: ver figura 10

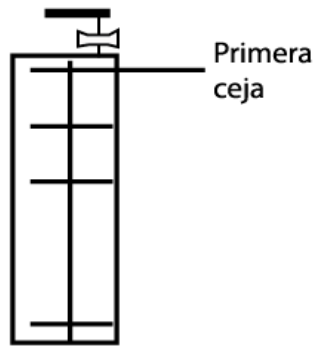
Antes de cualquier medición se debe asegurar que el medidor de caudal tenga combustible. Por lo tanto se procede a abrir la válvula 2. Esta acción permite que una parte del combustible ingrese al medidor y la otra continúe la circulación general.



Fuente: CCICEV – Quito.¹⁴

Figura 10. Recuperación de Nivel.

El medidor de caudal presenta cuatro cejas, cuando el combustible sobrepasa la primera ceja (figura 11), contando desde la parte superior se cerrará nuevamente la válvula 2 y el nivel del medidor se hallará recuperado.

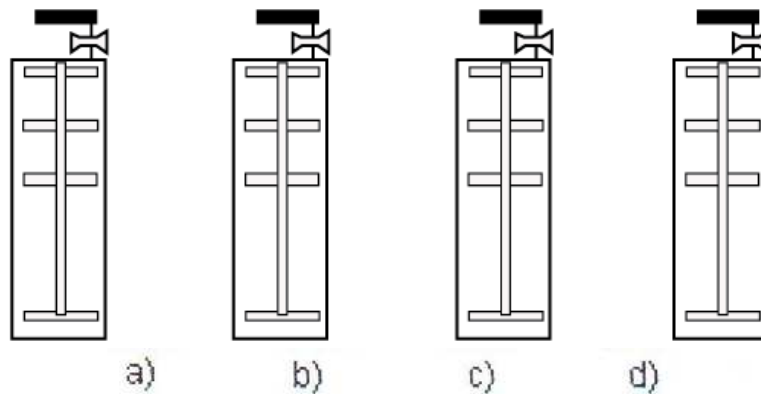


Fuente: CCICEV – Quito¹⁴

Figura 11. Medidor de Caudal.

Medición de caudal: La válvula 1 cerrada, 2 abierta

Para medir el caudal del combustible se cierra la válvula 1 impidiendo el paso del combustible desde el tanque principal. Instantáneamente la válvula 2 se abre y el motor empezará a consumir el combustible desde el medidor del caudal.



Combustible	Medidas				Unidades
	a)	b)	c)	d)	
Diesel	0	50	100	200	cm ³

Fuente: CCICEV – Quito.¹⁴

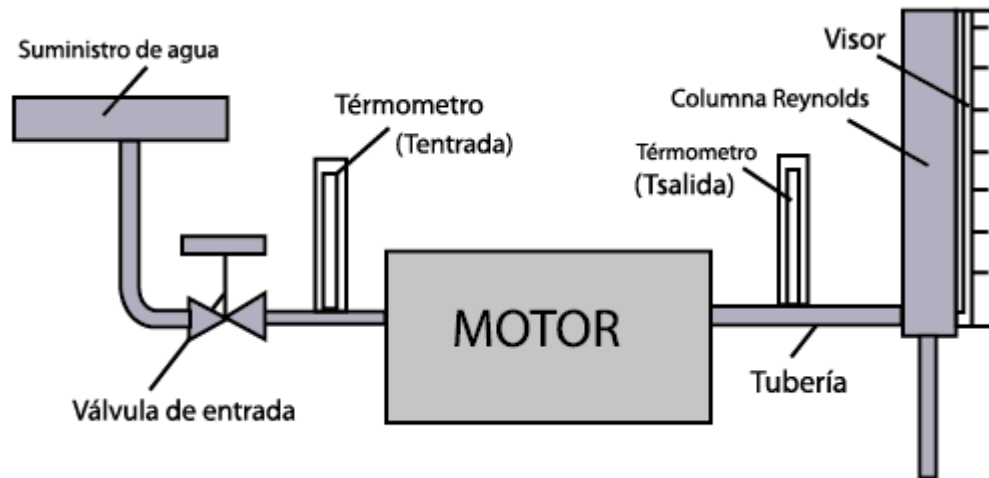
Figura 12. Graduación del medidor caudal.

Toma de datos en el sistema de combustible: Cuando el motor empieza a consumir el combustible desde el medidor, se debe tomar el tiempo (dato 1) que se demora en consumirse determinado volumen entre ceja y ceja, estando este medidor graduado entre ellas. La graduación difiere en unidades en el motor Diésel del Laboratorio de Termodinámica de Ingeniería Mecánica de la EPN como en el de la figura 12.

Observaciones: Hay que tener precauciones en el manejo de las válvulas, entre estas, las más importantes son:

1. La tercera válvula jamás debe estar cerrada. Si por algún motivo se cierra la válvula, el combustible no pasa y aire entra al motor y deja de funcionar hasta que se purgue éste.
2. Si durante la medición del caudal se consume todo el combustible del medidor y la válvula 1 no se abre nuevamente, aire ingresa al motor con las mismas consecuencias que el punto 1.
3. Si durante la medición del caudal se cierran las válvulas 1 y 2 la consecuencia es la misma que en los dos puntos anteriores.
4. Si en la recuperación de nivel, la válvula 2 se mantiene abierta por mucho tiempo el combustible puede empezar a regarse por la parte superior del medidor.
5. Las unidades en el motor Diésel, el medidor se encuentra en centímetros cúbicos. Esto es muy importante tener en cuenta para cálculos posteriores.

2.3.4.3. Sistema de refrigeración.



Fuente: CCICEV – Quito¹⁴

Figura 13. Sistema de refrigeración.

Motor Diésel: La refrigeración en el motor Diésel del banco de pruebas se da por agua. El sistema se puede ver en la figura 13.

Como su nombre lo indica el sistema de refrigeración tiene como objetivo principal la refrigeración del motor; y el objetivo de las mediciones es determinar el flujo de agua que refrigera al motor.

Desde el suministro principal llega el agua a la tubería de entrada pasa al motor y sale al desagüe.

Durante el trayecto se encuentra:

- La válvula de entrada: Esta válvula permite controlar el flujo de agua que ingresa al motor. Es importante que esta válvula se encuentre abierta durante toda la práctica.

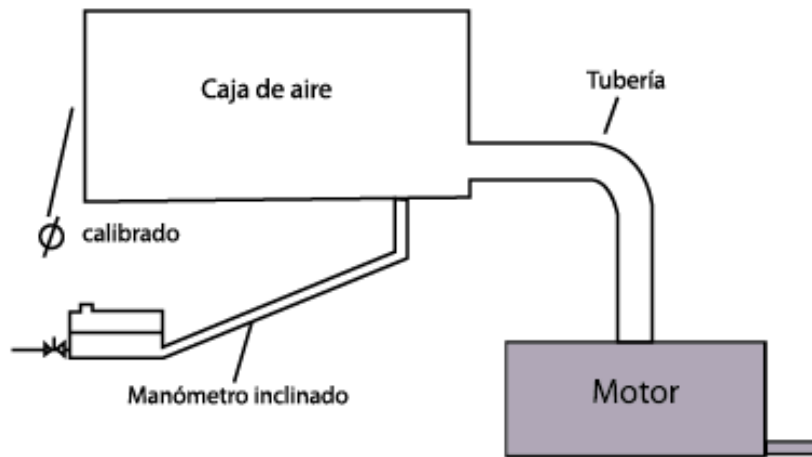
- Los termómetros: La temperatura del agua es medida tanto a la entrada como a la salida del motor.
- Columna Reynolds: Antes de que el agua regrese al suministro pasa por un medidor, conocido como columna Reynolds, que mide el flujo de agua. La columna Reynolds es un tubo vertical conectado directamente al flujo de agua que sale del motor. Cuando el agua pasa por este tubo, el flujo tiende a equilibrarse y el agua sube por el tubo hasta cierta altura. Con la ayuda de un visor colocado junto al tubo se puede medir la altura de la columna Reynolds.

Toma de datos en el sistema de refrigeración: En el sistema, los datos a tomarse son:

- La temperatura tanto a la entrada (dato 5) como a la salida (dato 6) se realiza con termómetros de mercurio.
- La altura de la columna (dato 7) se controla con la válvula de entrada por lo tanto es recomendable tener una altura mayor a 2 pulgadas.

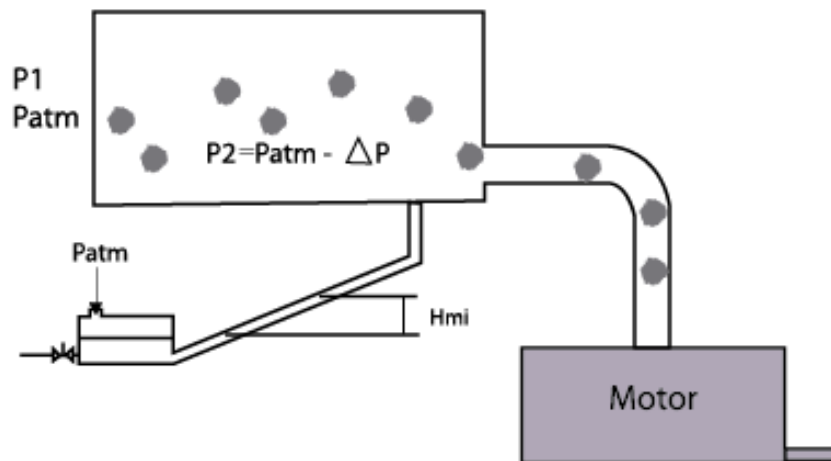
2.3.4.4. Sistema de aire.

El sistema de aire consta de los elementos que se muestran en la figura 14. En el tiempo de admisión, el motor genera un vacío, lo que obliga a que ingrese aire nuevo por el agujero de diámetro calibrado situado en la caja de aire. Por lo tanto la presión fuera de la caja será mayor que la presión dentro de esta. Siendo la presión externa simplemente la atmosférica (figura 15).



Fuente: CCICEV – Quito.¹⁴

Figura 14. Principio de funcionamiento de la caja de aire.



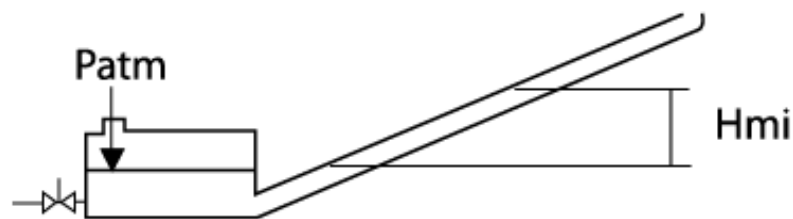
Fuente: CCICEV – Quito.¹⁴

Figura 15. Sistema de aire.

Como resultado del análisis anterior, el aire que ingresa por la caja sigue la manguera, ingresa al motor, participa en la combustión y sale por el tubo de escape convertido en gases de combustión. Debido al gradiente de presión el aire es obligado a moverse, al igual que el que se encuentra en la manguera del manómetro. Por lo tanto el agua del manómetro tiende a subir, generando una diferencia de altura.

Toma de datos en el sistema de aire: En este sistema los datos a tomarse son:

- La altura del manómetro inclinado (dato 2): La diferencia de presiones genera una diferencia de alturas en el manómetro inclinado que se lee en forma ampliada (figura 16). Las divisiones del manómetro corresponden a la altura de la diferencia de presiones en pulgadas. Por lo tanto la medida que se toma en el manómetro inclinado corresponde a una medida vertical.



Fuente: CCICEV – Quito.¹⁴

Figura 16. Altura del manómetro inclinado.

- La temperatura de entrada de aire: La temperatura del aire a la entrada se tomará con un termómetro de mercurio, en una zona cercana al ingreso del aire.
- La temperatura a la salida de los gases de combustión (dato 4): Esta temperatura se tomará justo a la salida del múltiple de escape con la ayuda de una termocupla.

2.4. Marco teórico de las emisiones de escape.¹⁶

En un motor de combustión interna se generan una serie de contaminantes, sea independientemente de si este es a Diésel o gasolina esto debido a que el proceso de combustión no se realiza de una manera completa prácticamente en ninguna de las condiciones de funcionamiento del motor.

¹⁶UNIMEG: Unidad de Monitoreo de Emisiones Gaseosas; EPN; Quito

Fundamentalmente, la mezcla que se quema en la cámara de combustión, formada por aire (oxígeno y nitrógeno) y combustible (carbono e hidrógeno) se transforma, por efecto de esta última, cuando la combustión es completa, en vapor de agua H_2O , bióxido de carbono CO_2 y nitrógeno N_2 , ninguno de los cuales es nocivo; pero como consecuencia de las combustiones incompletas, en los gases de escape emitidos al exterior por un motor, se encuentran además de los citados, pequeñas porciones de otros productos (aproximadamente el 1%), como el monóxido de carbono CO , los óxidos de nitrógeno NO_x , hidrocarburos HC y partículas sólidas, los cuales, por resultar perjudiciales para la salud, cuando se encuentran en concentraciones elevadas, son considerados contaminantes y deben ser reducidos o transformados en otros productos.

El contenido en productos contaminantes en los gases de escape depende de varios factores, de entre los cuales, el más importante es el proceso de combustión. Si el combustible se quema totalmente en cualquiera de las condiciones de funcionamiento del motor, el contenido de contaminantes es mínimo. Tanto las mezclas ricas como las pobres hacen que el combustible no se queme totalmente, vertiéndosele por el escape gran cantidad de productos contaminantes. La temperatura a la que se realiza la combustión, la presión, la homogeneidad de la mezcla, la turbulencia y la forma de la cámara de combustión, son factores que influyen notablemente en la calidad del proceso de combustión y, por consiguiente, en la emisión de contaminantes.

El motor de un automóvil desprende a la atmósfera una importante cantidad de compuestos, tales como hidrocarburos no quemados y monóxido de carbono, que contribuyen a la formación de humos y neblinas peligrosos para la salud y el medio ambiente.

En cuanto a la salud, los diferentes contaminantes, ya sea solos o en combinación con otros, pueden producir efectos como enfermedades de la piel, irritación de ojos, nariz, garganta y vías respiratorias; contaminantes como el CO por ejemplo pueden ocasionar la muerte a las personas cuando son expuestas a concentraciones superiores de 750 PPM por algunos minutos.

En cuanto al ambiente, sus principales efectos se dan en la formación de ciertos fenómenos macros, como el "efecto invernadero", el cual es responsable del calentamiento global de la tierra y sus consecuencias como el crecimiento de los desiertos, aumento del nivel de los mares, inmersión de islas y costas, etc.; la "lluvia ácida", con sus consecuentes daños a la vegetación, sistemas acuáticos, agricultura y estructuras civiles.

Los componentes principales y secundarios de los gases de escape en motores diésel se describen conjuntamente con los de los motores de gasolina. La tabla 10 muestra los rangos típicos de materiales tóxicos, presentes en el humo del escape. Los valores menores pueden encontrarse en motores nuevos y limpios, y los valores altos en equipos antiguos.

Tabla 10. Componentes de los gases de escape en motores Diésel

CO	HC	NO _x	SO ₂
Ppm	Ppm	Ppm	Ppm
5 -1500	20 - 400	50 - 2500	10 - 150

Fuente: CCICEV – Quito.¹⁶

Entre los distintos componentes presentes en las partículas emitidas por un motor Diésel distinguiremos la fracción orgánica soluble (también conocida como SOF) y la fracción sólida. La fracción orgánica soluble está compuesta principalmente por

hidrocarburos y subproductos de la combustión y representa aproximadamente el 49% de los gases emitidos, mientras que la fracción sólida la componen en su casi totalidad partículas de carbón y vapor de agua, representando ambos otro 49% del gas emitido. El 2% restante lo constituyen los sulfates.

Componentes principales: Los componentes principales de los gases de escape son N, CO₂ y vapor de agua, que no son venenosos. El CO₂ adquiere especial importancia por su incidencia negativa en el efecto invernadero.

Componentes secundarios: Entre estos tenemos CO, NO, HC, SO₂ que los describimos a continuación:

2.4.1. Monóxido de carbono (CO).¹⁷

El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro e insípido, que se forma en deficiencia de oxígeno. Tiene mayor afinidad que el oxígeno para combinarse con la sangre, reduciendo la cantidad de oxígeno en la misma. Se incrementa su contenido en el escape durante el ralentí, por ello se prohíbe tal régimen de funcionamiento en locales cerrados. Puede producir: síntomas de cansancio, dolor de cabeza, alteración la coordinación de los movimientos, reducción de la percepción visual y disminución de la capacidad para aprender. Los valores medidos de CO se indican en porcentaje sobre el volumen total de gases emitidos. Como norma general se pueden considerar valores de CO:

Entre 2,5 y 0,5 % para motores alimentados por carburador.

Entre 1,5 y 0,5 % para motores alimentados por inyección.

¹⁷ Villalta Juan: Motor Diesel; Inyección y Combustión; pp. 49 - 50

Entre 0,3 y 0,1 % para motores provistos de catalizador.

El monóxido de carbono CO resultado de una combustión incompleta por exceso de riqueza de la mezcla, en la que el carbono no encuentra suficiente cantidad de oxígeno para formar el bióxido de carbono CO₂. Su proporción en los gases de escape aumenta considerablemente con las mezclas ricas. El efecto nefasto que presenta el monóxido de carbono es debido a que se combina fácilmente con los glóbulos rojos de la sangre (hemoglobina), sustituyendo al oxígeno, lo que produce daños irreparables en los seres humanos. Una concentración de sólo un 0,3% en volumen de CO en el aire que respiramos puede producir la muerte en aproximadamente 30 minutos; sin embargo, vertido al aire libre se difunde rápidamente, y en contacto con el oxígeno forma bióxido de carbono CO₂ que no es nocivo. La conversión de monóxido en bióxido de carbono se logra simplemente con la mejora del proceso de la combustión. En los motores Diésel, debido a que funcionan con exceso de aire, las emisiones de CO son prácticamente despreciables.

Al ser inhalado se combina con la hemoglobina de la sangre impidiendo la absorción de oxígeno y produciendo asfixia.

El monóxido de carbono se forma al quemar carbono o sustancias compuestas de carbono con una cantidad insuficiente de aire. Incluso cuando dicha cantidad de aire es en teoría suficiente, la reacción no siempre se completa, pues los gases de combustión contienen una parte de oxígeno libre y una parte de monóxido de carbono.

Una reacción incompleta suele darse cuando ésta tiene lugar de una manera rápida, como en los motores de los automóviles, lo que provoca en los gases del escape la

presencia de cantidades nocivas de monóxido de carbono que pueden alcanzar un alto porcentaje. Este problema se elimina con la ayuda de dispositivos anticontaminantes que reducen el monóxido de carbono a niveles inferiores al 1%. Una cantidad de 1/100.000 de monóxido de carbono en el aire puede llegar a provocar síntomas de envenenamiento; y una cantidad tan pequeña como 1/500 puede ser fatal en menos de 30 minutos. El monóxido de carbono es el principal componente del aire contaminado en las áreas urbanas.

2.4.2. Monóxido de nitrógeno (NO).

El monóxido de nitrógeno es un gas incoloro, inodoro e insípido, que expuesto al aire se transforma en NO_2 , gas pardo rojizo de olor penetrante y muy venenoso. Generalmente se determinan juntos y se les denominan óxidos de nitrógeno (NO_x). Pueden provocar: irritación de las mucosas de los ojos y de las vías respiratorias, dolor de cabeza, náuseas, disnea y la exposición a altas concentraciones pueden provocar edemas pulmonares.

Además inhibe el crecimiento de las plantas y causa caída de sus hojas.

Las emisiones de NO_x son también un serio asunto medio ambiental, por su participación en la formación del smog.

Normalmente el nitrógeno es un gas inerte, es decir, no se combina con otros gases para formar compuestos; pero en condiciones de altas temperaturas, como las que se desarrollan en la combustión, algunas partículas de nitrógeno pueden combinarse con el oxígeno, formando óxidos y dióxidos de nitrógeno (NO y NO_2), denominados genéricamente NO_x , donde la x representa el contenido de oxígeno (número de átomos), que puede ser variable. Cuanta mayor temperatura y presión exista en la

cámara de combustión, más NO_x se produce en el motor. Por tanto, la cantidad de óxidos de nitrógeno aumenta con el régimen y la carga del motor.

2.4.3. Hidrocarburos (HC).

También llamados "inquemados" son moléculas de combustible inicial e hidrocarburos parcialmente oxidados (sin quemar). La existencia de estos gases puede atribuirse a dos causas: falta de oxígeno durante la combustión (mezcla rica), o velocidad de inflamación muy baja (mezcla pobre). En el proceso de combustión se producen una serie de reacciones químicas, muy complejas y diversas, que dan lugar a la formación de gran variedad de compuestos orgánicos, como cetonas, ácidos carbónicos, acetileno, etileno, etc.

Normalmente, los hidrocarburos tienen un olor penetrante fácilmente identificable y en presencia de óxidos de nitrógeno y de la luz solar forman productos de oxidación que irritan los ojos y las mucosas. Algunos son cancerígenos. Se producen por mezclas muy ricas, originadas por mala regulación o estado técnico de los sistemas de alimentación y encendido, y por combustión de aceite.

La cantidad de HC en los gases de escape depende de varios factores relacionados con el proceso de la combustión. La temperatura alta, por ejemplo, da un bajo contenido de este gas. Los HC los genera principalmente el combustible que se adhiere a las paredes de la cámara de combustión y no se llega a quemar totalmente. La mezcla de aire y combustible, que se encuentra en las proximidades de las paredes de la culata y el pistón, pierde calor con gran facilidad, con lo que no llega a alcanzar la temperatura de inflamación apagándose la llama. Tanto cuando la mezcla se enriquece, como cuando se empobrece, el nivel de hidrocarburos

aumenta debido a que el proceso de combustión no se realiza de forma correcta. El mínimo de emisiones de este gas se da con mezclas ligeramente pobres.

La medición de los hidrocarburos se realiza en partes por millón (ppm). Aunque estos valores se incrementan según el uso del vehículo y el desgaste de sus piezas, se pueden considerar valores estimados los siguientes:

- Hasta 300 ppm para motores alimentados por carburador.
- Entre 50 y 150 ppm para motores alimentados por inyección.
- Menos de 50 ppm para motores provistos de catalizador.
- Las emisiones de HC contribuyen a la formación de niebla fotoquímica (smog), la cual es el resultado de diversas reacciones en la atmósfera que comienzan debido a la radiación ultravioleta del sol. Estas reacciones producen sustancias que reducen la visibilidad, irritan los ojos y dañan la vegetación.

2.4.4. Dióxido de Azufre (SO₂).¹⁶

Se genera por el azufre presente en el combustible, y su concentración depende de la cantidad de azufre presente. Los gasóleos actuales tienen un contenido de azufre bajo (menor a 0,05%), que se logra mejorando su proceso de elaboración.

El dióxido de azufre es un gas tóxico incoloro, con la característica de emitir un olor irritante. La oxidación del SO₂ produce óxido de azufre, precursor del ácido sulfúrico, responsable de las partículas de sulfato en las emisiones diésel. Los óxidos de azufre tienen un profundo impacto en el medio ambiente es la mayor causa de la lluvia ácida.

2.4.5. Oxígeno (O₂).

La presencia de oxígeno en los gases de escape indica que la combustión no es perfecta. El oxígeno indica que parte del combustible no se ha quemado, dando origen a emisiones de HC y de CO. Las mezclas pobres originan una gran emisión de oxígeno y las mezclas ricas casi las anulan por completo, pero sin llegar hasta el cero. La medición del oxígeno se realiza sobre la totalidad de los gases emitidos y se indica con un porcentaje. Los resultados obtenidos deben estar dentro de los márgenes indicados por el fabricante. Pudiendo considerar los siguientes datos como orientativos: entre 1,5 y 0,7 en motores alimentados por carburador, entre 0,8 y 0,4 en motores alimentados por inyección, entre 0,4 y 0,1 en motores provistos de catalizador.

2.4.6. Opacidad.

La calidad de la combustión de un motor Diésel puede comprobarse con la ayuda de un opacímetro, aparato éste que mide la cantidad de combustible no quemado, que produce el característico humo negro del escape. La presencia de este humo negro indica exceso de inyección de combustible, combustión inadecuada o puesta en fase de la bomba incorrecta. Opacímetro es el instrumento de medición que opera sobre el principio de reducción de la intensidad de la luz que se utiliza para determinar el porcentaje de opacidad.

El porcentaje de opacidad es la unidad de medición que determina el grado de opacidad de las emisiones de escape de una fuente móvil a Diésel.

En la estructura de estos aparatos comprobadores, los cuales son dispositivos ópticos que miden la opacidad de una muestra de gases de escape, que se toma

directamente del tubo de escape y se lleva al aparato medidor, en el cual se hace circular por una cámara de rayos infrarrojos que analiza la muestra y mide el contenido de gases sin quemar, indicándolo en una escala graduada. En otros comprobadores, la muestra se condensa en un papel poroso, que posteriormente se analiza en un comprobador fotoeléctrico que indica el porcentaje de saturación. En ambos casos, la muestra de gas se toma en el instante de una fuerte y rápida aceleración hasta los plenos gases.

La prueba de humos deberá realizarse con el motor a su temperatura de régimen y el nivel de aceite correcto, no debiendo existir fugas en el sistema de escape. En la prueba se efectuarán al menos cuatro aceleraciones libres y se tomará el valor promedio de las mismas.

CAPÍTULO 3.

PROCEDIMIENTOS.

3.1. Pruebas realizadas al biodiésel.

El combustible para motor Diésel debe cumplir con unas especificaciones bien determinadas si se quieren obtener buenos resultados. Generalmente, si cambian algo las características debe cambiarse la puesta a punto del motor, por lo que hemos incluido un capítulo destinado al control de calidad del diésel y mezclas de biodiésel.

El presente capítulo tiene por objetivo, la descripción de ensayos físico - químicos mediante procedimientos establecidos en laboratorio de Control de Calidad, así como determinar si el diésel y las distintas mezclas de biodiésel se encuentran enmarcadas en las especificaciones establecidas por la normativa ASTM e INEN.

Las pruebas y análisis fueron realizadas en el Laboratorio de Control de Calidad de PETROCOMERCIAL de la ciudad de Riobamba el cual cuenta con la infraestructura y los equipos necesarios para determinar propiedades básicas de los hidrocarburos estudiados en el presente proyecto de investigación.

En mencionado laboratorio se realizaron las siguientes pruebas o ensayos.

- Punto de inflamación.
- Densidad API y gravedad específica.
- Destilación ASTM.
- Índice de cetano calculado.
- Corrosión a la lámina de cobre.
- Viscosidad cinemática.

Considerando que es importante saber el por qué se realizan determinadas pruebas al diésel y mezclas de biodiésel, se hace necesario entender y además tener una idea de la precisión, el alcance de los diferentes métodos y sus efectos en el desempeño del motor encendido por compresión para saber interpretar los datos de cada uno de los productos, razón por la cual hemos incluido una breve descripción de mencionados efectos.

3.1.1. Curvas de destilación.¹⁸

3.1.1.1. Método.

ASTM D-86:00 Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure.

INEN NTE 0926:84 Productos de Petróleo: Ensayo de Destilación.

3.1.1.2. Objetivo.

Determinar la destilación ASTM del diésel y mezclas de biodiésel.

3.1.1.3. Resumen.

Se destila una muestra de ensayo de 100 cm³, bajo las condiciones establecidas en la tabla 11, según la naturaleza del producto.

Se efectúan lecturas sistemáticas o simultaneas de la temperatura de los vapores y volúmenes de recuperado y con estos datos se calculan los resultados del ensayo.

¹⁸ INEN NTE 0926:84 Productos de Petróleo: Ensayo de Destilación

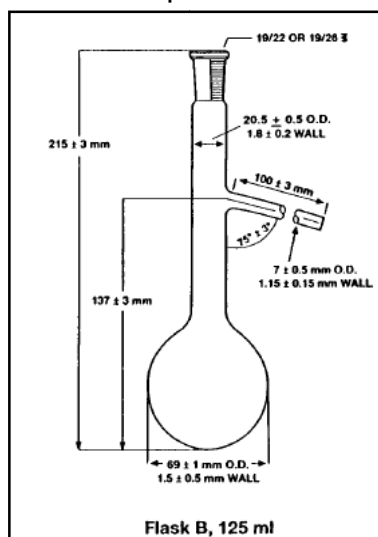
Tabla 11. Condiciones de ensayo, para la destilación de los derivados del petróleo.

CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA	GRUPO			
	1	2	3	4
Punto inicial de ebullición (°C)			100 o menos	100 o más
Punto final (°C)	250 o menos	250 o menos	más de 250	más de 250
Termómetro de destilación ASTM	7c (0-300) °C	7c (0-300) °C	7c (0-300) °C	8c (0-400) °C
Diámetro del agujero del soporte del matraz	3 cm	3 cm	5 cm	5 cm
Matraz	100 cm ³	100 cm ³	125 cm ³	125 cm ³
Temperatura para comenzar el ensayo Matraz y termómetro (°C)	13 a 18	13 a 18	13 a 18	No superior a la del ambiente
Probeta graduada y muestra	13 a 18	13 a 18	13 a 18	13 a ambiente
Tiempo transcurrido desde la iniciación del calentamiento hasta llegar al punto inicial de la ebullición	5 a 10 min	5 a 10 min	5 a 10 min	5 a 15 min

Fuente: Petrocomercial - Riobamba¹⁹

3.1.1.4. Equipos y materiales.

- **Balón o matraz de destilación:** (Figura 17), representa un matraz de destilación de 100 ml y 125 ml de capacidad, respectivamente con las dimensiones y tolerancias admisibles, para esta prueba utilizamos un balón de 125 ml de capacidad.

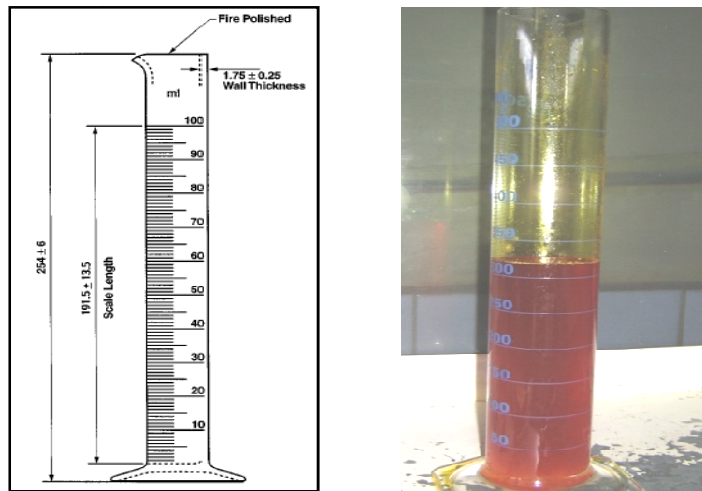


Fuente: Petrocomercial – Riobamba.¹⁹

Figura 17. Características del balón de destilación.

¹⁹ Laboratorio de control de combustibles; Petrocomercial; Riobamba.

- **Probeta graduada:** De 100 ml de capacidad, según las dimensiones indicadas (Figura 18).



Fuente: Petrocomercial – Riobamba.¹⁹

Figura 18. Características de la probeta.

- **Termómetro:** La destilación del diésel 2 se lleva a cabo desde los 150 a 360 ° C aproximadamente. y según estas consideraciones se empleara un termómetro que cubra estas características basadas en las especificaciones de la tabla 1, para esta prueba se empleara un termómetro que va desde 0 a 400 °C.
- **Aparato de destilación con calentamiento eléctrico:** (Figura 19).



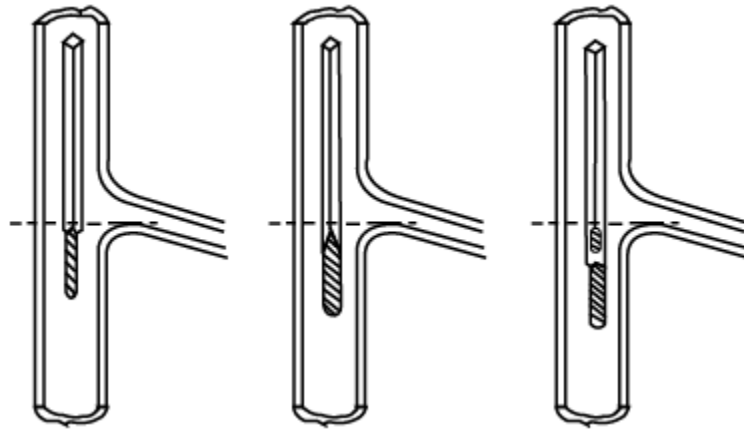
Fuente: Petrocomercial – Riobamba.¹⁹

Figura 19. Aparato de destilación con calentamiento eléctrico.

3.1.1.5. Procedimiento del ensayo.

- Colocar el equipo sobre una mesa firme y nivelada y protegerlo de posibles corrientes de aire.
- Medir 100 ml de diésel 2 en la probeta graduada y transferir al balón de destilación.
- Colocar el termómetro provisto de un corcho con un solo agujero ajustado herméticamente en el balón de destilación, de manera que el bulbo del termómetro quede bien centrado y a una altura tal, que la parte inferior del capilar este a nivel con la parte inferior del tubo de desprendimiento. (Figura 20).
- Colocar el balón de destilación conteniendo la muestra de ensayo sobre la placa de amianto y establecer la unión hermética con el tubo condensador por medio de un tapón de corcho que ajuste perfectamente, de manera que el extremo del tubo de desprendimiento no penetre en el tubo condensador más de 50 mm ni menos de 25 mm.
- Colocar la probeta graduada sin secarla, en el extremo del tubo condensador, de manera que este penetre en la probeta por lo menos 25 mm, pero sin llegar a la graduación de 100 ml.
- Calentar el balón de destilación con su contenido, regulando el calor de tal manera que el tiempo entre el inicio de la aplicación de calor y la obtención del punto inicial no exceda los límites indicados, (tabla 11)
- Inmediatamente después de haber observado el punto inicial de ebullición, mover la probeta hasta que la punta del tubo tope condensador tope su pared interna.
- Tomar las temperaturas del destilado a 10, 50,65, 90 % de recuperado.

- Interrumpir el calentamiento al llegar a 90% de recuperado.
- Repetir el ensayo de destilación para las mezclas Biodiésel 2%,5%,10%,15%,100%.



Fuente: Petrocomercial – Riobamba.¹⁹

Figura 20. Colocación correcta del termómetro en el balón de destilación.

3.1.1.6. Cálculos.

Los datos de las temperaturas de destilación se deben ajustar a la presión barométrica normal mediante la Ec 14. Sydney Young que es la siguiente:

$$Cc = 0,00012(760 - P) \times (273 + Tc) \quad (14)$$

donde:

P = Presión barométrica (542 mm Hg).

Tc = Temperatura experimental.

$$T = Tc + Cc \quad (15)$$

donde:

T = Temperatura de destilación corregida

Tc = Temperatura experimental.

Cc = Factor de corrección.

3.1.2. Punto de Inflamación.²⁰

3.1.2.1. Método.

ASTM D-93: Standard Test Methods for Flash-Point by Pensky Martens Closed Cup Tester.

INEN NTE 1047:84 Productos de Petróleo Punto de Inflamación en copa cerrada Método TAG.

3.1.2.2. Objetivo.

Determinar el punto de inflamación del diésel y mezclas de biodiésel.

3.1.2.3. Resumen.

Este ensayo consiste en calentar una muestra del producto en un recipiente cerrado a una velocidad determinada hasta que se haya vaporizando una cantidad suficiente de elementos volátiles susceptibles de por una llama que se desplaza por encima del recipiente, tan pronto se produce una ligera explosión, se anota la temperatura que corresponde al punto de inflamación o flash point del producto.

3.1.2.4. Equipos y materiales.

- **Equipo Pensky-Martens:** El equipo debe contar con las siguientes especificaciones. (Figura 21).

²⁰ INEN NTE 1047:84 Productos de Petróleo Punto de Inflamación en copa cerrada Método TAG



Fuente: Petrocomercial – Riobamba.¹⁹

Figura 21. Equipo Pensky-Martens.

- **Fuente de calor**
- **Termómetro:** Para medir la temperatura del baño calentador se podrá usar cualquier termómetro, cuya escala cubra el intervalo de temperatura requerido ver (tabla 12), en esta prueba se usa el termómetro que va desde -5 a 110 °C.

ESPECIFICACIÓN	TEMPERATURA		
* ASTM E 1.	menor a 4 °C.	entre 4 °C. y 49 °C.	mayor a 49 °C.
	57 °C.	57 °C. o 9 °C.	9 °C
* ASTM E 1. Indica las especificaciones completas de estos termómetros			

Fuente: Petrocomercial – Riobamba¹⁹

Tabla 12. Especificaciones del termómetro.

3.1.2.5. Procedimiento del ensayo.

- Colocar el equipo sobre una mesa firme y nivelada y protegerlo de posibles corrientes de aire.
- Usando una probeta y evitando que se mojen las paredes de la copa más arriba de la línea que indica el nivel final, medir 50 cm³ +/- 0.5 cm³ de la muestra (diésel 2) que este a una temperatura al menos 11°C bajo el punto de inflamación esperado.

- Quitar las burbujas de aire de la superficie de la muestra; limpiar la superficie interior de la tapa con un paño limpio y colocar la tapa con su termómetro en su lugar.
- Encender la llama, ajustándole conforme a la dimensión de la pequeña esfera situada encima de la tapa, cuya llama debe estar entre los 3 a 4 mm de altura.
- Operar el mecanismo colocado sobre la tapa de la copa, de tal manera que la llama de encendido se introduzca en el espacio de la copa lleno de vapor, sacándola inmediatamente después. El tiempo total de esta operación no debe ser mayor de 1 segundo.
- Se calienta la muestra y por cada 1° C se pasa el mecanismo de llama sobre la copa y en el momento en que se produce la primera explosión, se toma la temperatura, la cual corresponde al punto de inflamación no se debe confundir esta llama con un halo azulado que a veces rodea la llama de encendido durante las aplicaciones que proceden inmediatamente a la inflamación verdadera.
- Repetir el ensayo de punto de inflamación para las mezclas biodiésel 2%,5%,10%,15%,100%.
- Para cada ensayo o para su repetición, tomar una nueva porción de muestra.

3.1.2.6. Cálculos.

Dependiendo de la situación geográfica en que se encuentra el laboratorio se procede a realizar la corrección de temperatura del punto de inflamación del diésel 2, utilizando la ecuación (15)

$$Plc = PI + 0,033(760 - p) \quad (15)$$

donde:

Plc = Punto de infamación corregido, en °C

PI = Punto de inflamación observado, en °C

p = Presión atmosférica mmHg.

0.033 = Es un factor de corrección.

3.1.3. Densidad API y gravedad específica.²¹

3.1.3.1. Método.

ASTM D-1298:99 Standard Test method for Density, Specific Gravity, or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method

NTE 2319:01 Productos derivados de Petróleo: Determinación de la Densidad API.

3.1.3.2. Objetivo.

Determinar la densidad API y gravedad específica del diésel y mezclas de biodiésel.

3.1.3.3. Resumen.

Este método describe el procedimiento para la determinación de la gravedad específica y de los grados API de los derivados del petróleo normalmente manejados como líquidos por medio de un termómetro hidrómetro de vidrio. Los resultados se determinan a 60° F o se convierten a esta temperatura por medio de tablas de corrección ASTM

La gravedad específica es la relación entre el peso de un volumen dado del producto y el peso de un volumen igual de agua, teniendo como temperatura de referencia a 60° F.

$$API = \frac{141,5}{GSP(60^{\circ}C)} - 131,5 \quad (16)$$

donde:

²¹ NTE 2319:01 Productos derivados de Petróleo: Determinación de la Densidad API

GSP= Gravedad específica

(17)

3.1.3.4. Equipo y materiales.

- **Termo hidrómetro de vidrio:** Graduados en grados API (figura 22) y temperatura de acuerdo a los requisitos ASTM °C o °F (Tabla 13.), para esta prueba se usa dos termo hidrómetros: uno que va desde 19 a 31 API y de 0 a 150 °F y otro para el diésel que va desde 29 a 41 API y 0 a 150 °F.



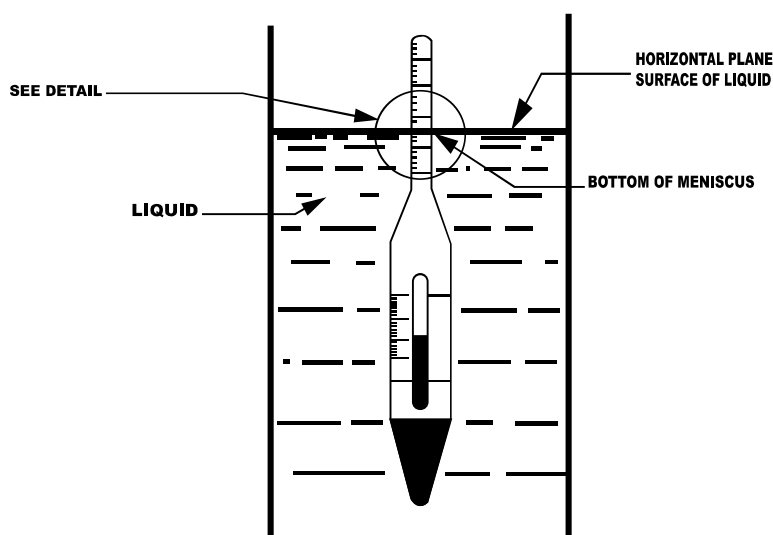
Fuente: Petrocomercial – Riobamba.¹⁹

Figura 22. Termohidrómetro.

Tabla 13. Especificaciones de los hidrómetros.

<i>ESCALA °API</i>	<i>TIPO DE HIDROMETRO</i>
1 a 11	1 H
9 a 21	2 H
19 a 31	3 H
29 a 41	4 H
39 a 51	5 H
49 a 61	6 H
59 a 71	7 H
69 a 81	8 H
79 a 91	9 H
89 a 101	10 H
Temperatura estándar	15.6°C (60°F)
Subdivisiones de:	0.1°API
Líneas intermedias:	0.5°API
Líneas numeradas:	1.0°API
Longitud total:	323 a 335 mm
Longitud de escala nominal:	125 a 145 mm
Diámetro del cuerpo:	23 a 27 mm
Diámetro del vástago:	4.0 mm

Probeta: Cuyo diámetro interno sea mayor por lo menos 25 mm que el diámetro exterior del termo hidrómetro; su altura debe ser tal, que permita que el termo hidrómetro ubicado a su máxima profundidad flote por lo menos a 25 mm del fondo, para esta prueba se utiliza una probeta de 500 ml. Figura 23.



Fuente: Petrocomercial – Riobamba.¹⁹

Figura 23. Colocación correcta del termohidrómetro en la probeta.

3.1.3.5. Procedimiento del ensayo.

- Vierta la muestra dentro de la probeta limpia y seca, sin salpicar, de modo que se evite la formación de burbujas de aire y para reducir al mínimo la evaporación y pérdida de los componentes más ligeros de la muestra volátil. Remover las burbujas de aire con un pedazo de papel filtro limpio antes de introducir el termo hidrómetro. La probeta que contiene la muestra debe estar en correcta posición vertical y en un lugar libre de corrientes de aire.
- Sumergir el termo hidrómetro suavemente dentro del diésel 2 y mezclas de biodiésel respectivamente, dejarlo libre sin roce con las paredes del cilindro, manteniéndolo seco el resto del vástago sobre el nivel que se encuentra

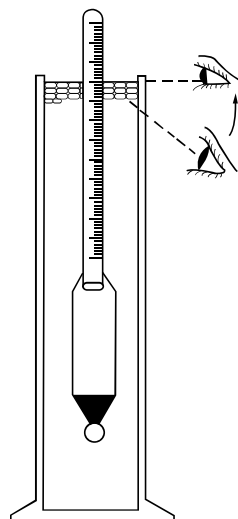
inmerso en el líquido (figura 23.) Dejar que transcurra el tiempo necesario hasta que el termohidrómetro quede inmóvil (Tabla 14.).

<i>PETROLEO CRUDO O DERIVADOS</i>	<i>TIEMPO MINIMO DE INMERSION (MINUTOS)</i>
Gasolina, naftas	5
Diesel, destiladas	5
Petróleo crudo de 16 °API o más	5
Petróleo crudo entre 13 y 16 °API	10
Petróleo crudo menor que 13 °API	15
Aceites combustibles de viscosidad mayor de 100 SSU a 38 °C y menor que 170 SSU a 100°C.	15
Aceites combustibles residuales de viscosidad de 170 SSU a 100°C o más viscosos.	30

Fuente: Petrocomercial – Riobamba¹⁹

Tabla 14. Tiempo de inmersión del termohidrómetro.

- Cuando el termohidrómetro haya quedado inmóvil, flotando libremente y la temperatura de muestra es constante leer el hidrómetro hasta la más próxima medida división de la escala al igual que su temperatura. La lectura correcta del hidrómetro es aquel punto sobre la escala del hidrómetro en la cual la superficie corta dicha escala (figura 24).



Fuente: Petrocomercial – Riobamba.¹⁹

Figura 24. Lectura correcta del hidrómetro.

3.1.3.6. Cálculos.

- Corregir la lectura API a 60 ° F mediante la utilización de tablas (ANEXO I).
- Para determinar la gravedad específica se emplea la Ec. 17 que es la siguiente.

$$GSP = \frac{141,5}{API + 131,5}$$

o a su vez se obtiene de los datos de tablas (ANEXO II).

3.1.4. Índice de cetano.²²

3.1.4.1. Método.

ASTM D-976:1995 Standard test Methods for Calculated Cetane Index of Distillate Fuels.

INEN NTE 1495:87 Productos derivados de Petróleo: Determinación del Índice de Cetano Calculado.

3.1.4.2. Objetivo.

Calcular el índice de cetano del combustible del diésel y mezclas de biodiésel

3.1.4.3. Resumen.

El índice de cetano es una medida de la calidad de la ignición de un combustible del diésel. Está a menudo equivocado como una medida de calidad de combustible. El índice de cetano realmente es una medida del retraso de encendido de un combustible. Éste es el lapso de tiempo entre la salida de inyección y salida de combustión (ignición) del combustible. En un motor Diésel particular, los

²² INEN NTE 1495:87 Productos derivados de Petróleo: Determinación del Índice de Cetano Calculado.

combustibles del cetano más altos tendrán periodo del retraso de encendido más cortos que los combustibles del cetano más bajos.

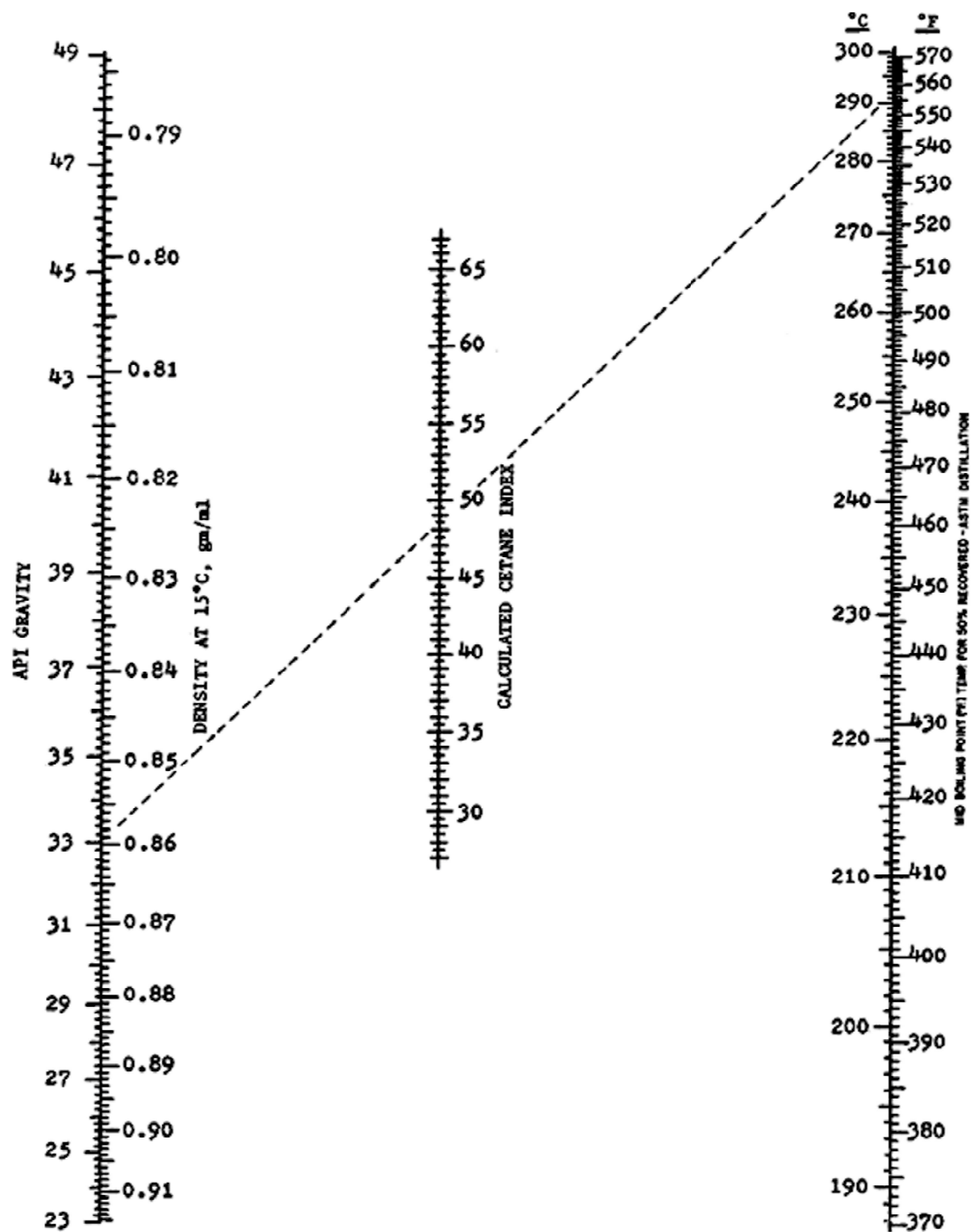
El índice del cetano calculado se deriva de la densidad del combustible y límite de ebullición. Es también útil por estimar el índice de cetano de combustibles destilados, esta técnica no puede aplicarse a combustibles que contienen aditivos que levantan índice de cetano. Estos aditivos no cambian la densidad de combustible o perfil de la destilación, así que ellos no alteran el índice del cetano calculado.

3.1.4.4. Equipo y materiales.

- **Ábaco del índice de cetano (figura 25).**

3.1.4.5. Procedimiento del ensayo.

El índice de cetano calculado se determina a partir de la temperatura de destilación ASTM del Diésel 2 al 50% del recuperado a 760 mm Hg, con la densidad API corregido respectiva del diésel.



Fuente: Petrocomercial – Riobamba¹⁹

Figura 25. Ábaco del índice de cetano.

3.1.5. Corrosión a la lámina de cobre.²³

3.1.5.1. Método.

ASTM D-130 Standard Test Method for Detection of Copper Corrosion from Petroleum Products by the Copper Strip Tarnish Test.

INEN NTE 0927:84 Productos de Petróleo: Determinación de la Corrosión Sobre Lámina de Cobre.

3.1.5.2. Objetivo.

Reconocer la presencia de compuestos corrosivos de azufre en diésel y mezclas de biodiésel.

3.1.5.3. Resumen.

Este método describe el procedimiento para reconocer la presencia de los compuestos corrosivos de azufre en derivados del petróleo.

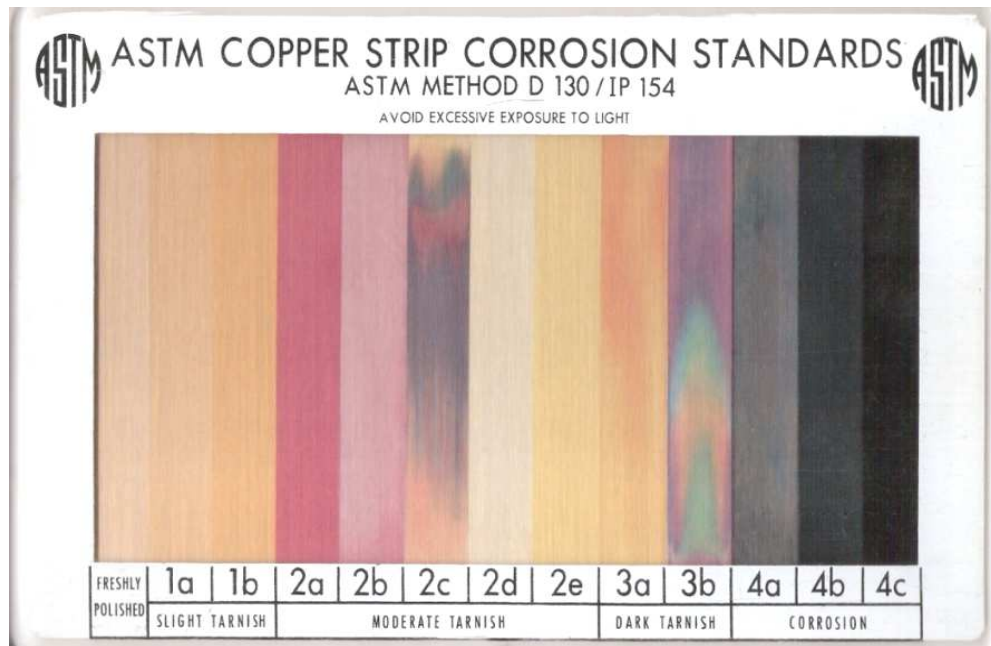
La presencia de sustancias corrosivas hace que los equipos se deterioren con facilidad ocasionando grandes pérdidas económicas; por esta razón se utiliza la lamina de cobre debido a que este elemento es más susceptible de ser corroído por las sustancias derivadas del petróleo para el reporte de los resultados utilizamos los estándares comparativos ASTM de corrosión de cobre (figura 26).

3.1.5.4. Equipos y materiales.

- **Lámina de cobre:** La misma que debe estar libre de corrosión.
- **Estándares comparativos de corrosión ASTM:** (figura 26).

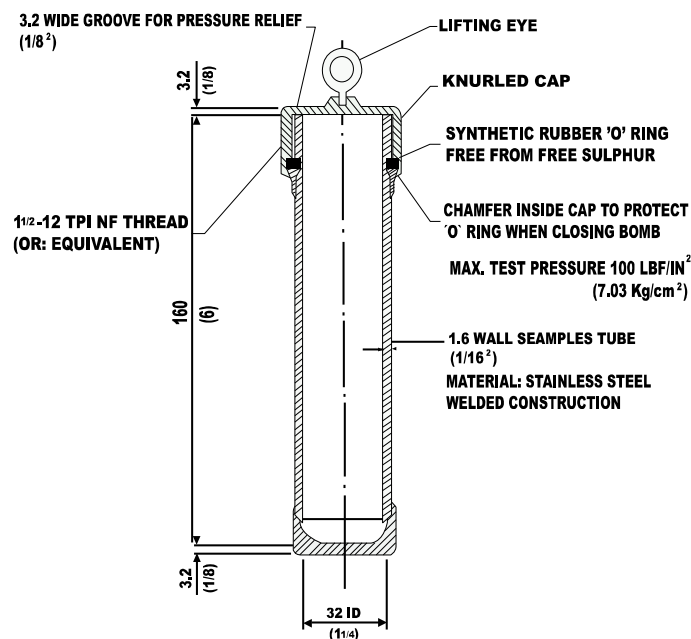
²³ INEN NTE 0927:84 Productos de Petróleo: Determinación de la Corrosión Sobre Lámina de Cobre

- **Bomba de corrosión:** (figura 27).
- **Baño maría para la corrosión:**
- **Termómetro para el baño maría:** En el laboratorio utilizamos el termómetro con un rango de temperatura que va desde 0 a 110°C



Fuente: Petrocomercial – Riobamba¹⁹

Figura 26. Estándares comparativos de corrosión ASTM.



Fuente: Petrocomercial – Riobamba¹⁹

Figura 27. Bomba de corrosión.

3.1.5.5. Procedimiento del ensayo.

- Asegurarse que la lámina de cobre se encuentre libre de corrosión para lo cual se lija completamente la lámina.
- El baño maría debe estar y mantenerse a la temperatura de 50 °C
- Introducir la lámina de cobre en el tubo de ensayo y está en la bomba de corrosión con la muestra de diésel 2.
- Después de tres horas se debe observar los resultados.
- Comparar la lámina de cobre con los estándares comparativos de corrosión ASTM.
- Repetir el ensayo de punto de inflamación para las mezclas biodiésel 2%,5%,10%,15%,100%.

3.1.6. Viscosidad cinemática.²⁴

3.1.6.1. Método.

ASTM D-445 Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids.

INEN NTE 0927:84 Productos de Petróleo: Determinación de la Viscosidad Cinemática en Líquidos Transparentes y Opacos.

3.1.6.2. Objetivo.

Determinar la viscosidad cinemática del diésel y mezclas de biodiésel.

²⁴ INEN NTE 0927:84 Productos de Petróleo: Determinación de la Viscosidad Cinemática en Líquidos Transparentes y Opacos

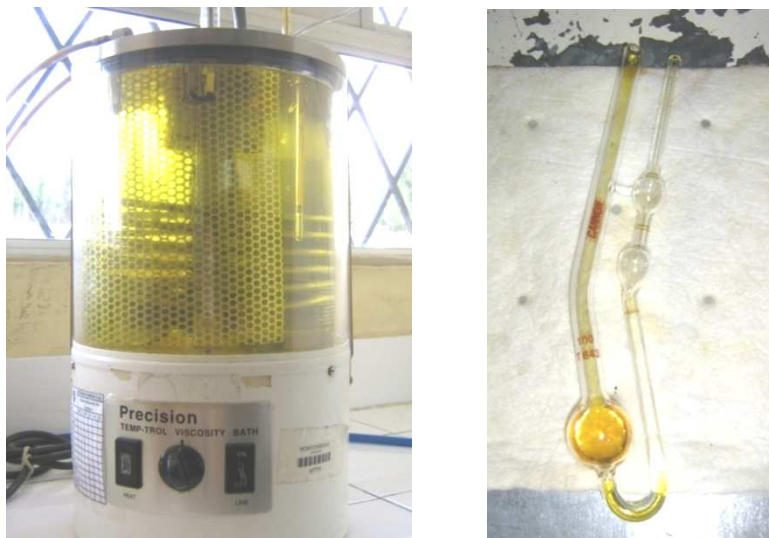
3.1.6.3. Resumen.

El tiempo es medido en segundos para un volumen de líquido que fluye bajo la gravedad a través de un viscosímetro de vidrio capilar calibrado y a una temperatura controlada.

La viscosidad cinemática es el producto del tiempo medido de flujo por la calibración constante del viscosímetro.

3.1.6.4. Equipos y materiales.

- **Mezclas biodiésel 2%,5%,10%,15%,100%.**
- **Viscosímetro de vidrio capilar:** Debe estar calibrado y ser capaz de medir la viscosidad cinemática en los límites de precisión aceptables. Figura 28



Fuente: Petrocomercial - Riobamba

Figura 28. Viscosímetro de vidrio capilar.

- **Soporte del viscosímetro:** Para permitir que el viscosímetro sea suspendido en una posición para la cual ha sido calibrado.
- **Baño de temperatura controlada:** Baño con aceite es utilizado y es provisto de la profundidad suficiente de manera que durante la medida todas las

proporciones de la muestra en el viscosímetro estén por lo menos 20 mm por debajo de la superficie del baño 20mm por encima del fondo del baño.

3.1.6.5. Procedimiento del ensayo.

- Mantener el baño a la temperatura deseada dentro de los rangos permitidos.
- Seleccionamos el viscosímetro impío y seco que tenga un rango que cubra la viscosidad estimada, el tiempo de flujo no debe ser menor a 200 segundos.
- Permitir que el viscosímetro cargado con la muestra permanezca en el baño el tiempo suficiente para alcanzar la temperatura del ensayo.
- Usamos succión para ajustar el nivel de cabeza de la muestra a la posición en el capilar del instrumento aproximadamente 5mm por encima de la primera marca del tiempo.
- Con el flujo de muestra libremente medimos en segundos el tiempo requerido para que menisco pase desde la primera marca hasta la segunda marca.

3.2. Pruebas realizadas al motor diésel.

Las curvas características de un motor permiten comparar un motor frente a beneficios y consumos, lo cual ayuda a saber que motor es más rentable según las necesidades que se tiene.

Las curvas características del motor, suelen venir incluidas en los folletos técnicos y se refieren a las prestaciones que estos motores suministran en un banco de pruebas (torque, potencia al freno, consumo específico, entre otros).

3.2.1. Torque.

3.2.1.1. Realización de la práctica.

La práctica consiste de dos partes, una experimental donde se toman los datos, y un cálculo posterior, donde esos datos se utilizan para obtener diferentes resultados para analizar.

3.2.1.2. Objetivos.

Hacer funcionar el freno Froude y dinamómetro en las condiciones de prueba.

Trazar las graficas de Torque.

3.2.1.3. Equipos.

El banco de pruebas, como se mencionó anteriormente, se utiliza para obtener las curvas características entre ellas la del torque. En esta sección se explicará detenidamente cómo se realiza la práctica.

3.2.1.4. Procedimiento.

En la práctica se dispondrá el acelerador en una posición fija, mientras las revoluciones irán variando a medida que se utilice el freno, es decir se obtendrá los resultados para curvas de velocidad.

Pasos para realizar la práctica del motor Diésel

1. Leer detenidamente la hoja de datos que se entrega en el laboratorio de Termodinámica.

2. Llenar todos los datos previos: especificaciones del combustible, condiciones ambientales y observaciones.
3. Verificar que todos los elementos externos al motor que se necesitan estén disponibles:
 - La bomba que entrega el agua para la refrigeración del motor debe estar encendida.
 - La termocupla de los gases de escape debe estar conectada al medidor.
 - Los cables de la batería deben estar conectados, en buenas condiciones y bien sujetos
 - El personal que realiza la práctica debe estar adecuadamente equipado (casco, orejeras, mandil, etc.)
 - El nivel de combustible y de aceite sea el adecuado
4. Se abre el paso del agua para la refrigeración del motor, se controla el caudal con la válvula de entrada para la columna Reynolds.
5. Se enciende el motor. Es posible que se necesite la ayuda de la bujía de calentamiento que se encuentra a la entrada del múltiple de admisión e incluso se puede utilizar éter.
6. Cuando el motor ya esté encendido es importante controlar el acelerador para no forzar al motor. Por lo cual este debe ser ubicado a un tercio de su máxima posición. El motor debe tener tiempo para estabilizarse.
7. Si todos los elementos funcionan adecuadamente se procede a realizar la práctica.

- El acelerador permanecerá constante, mientras que las revoluciones se irán controlando con el freno hidráulico. Los valores de las revoluciones, el número de datos dependen del rango que se quiere medir, del combustible y tiempo que se asignen a la práctica. Estos pueden estar entre 1000 -2500 rpm y el número de mediciones de 5 o 6. Pero no son valores estrictos.
- Después de ajustar al motor a las primeras revoluciones seleccionadas se lo deja estabilizar entre 3 a 5 min., por lo menos.
- Cuando se estabilizado se procede a tomar los siguientes datos:

a) Fuerza: Esta se lee del dinamómetro y es muy importante recordar alinear la señal con el tope para mantener el brazo perpendicular a la fuerza.

b) Brazo: Distancia desde el eje hasta el dinamómetro.

c) RPM: Se leen en el tacómetro.

d) Temperaturas

de agua: a la entrada y salida.

de aire: a la entrada y a la salida (termocupla).

e) Flujos

de agua: la altura en la columna Reynolds

de aire: el diámetro del orificio de la caja de aire y la altura del manómetro.

Tiempo de consumo: el tiempo que se demora en consumirse 50 centímetros cúbicos en el medidor.

Estos datos se deben tomar para cada condición del motor, tomando en cuenta que el motor siempre debe tener tiempo para estabilizarse.

8. Se coloca las revoluciones en una posición fija (este valor no es estricto, se recomienda entre 1200 a 1800 RPM).

Se varía el acelerador, logrando que la fuerza en el dinamómetro haga un recorrido anti horario en n posiciones, pero siempre se controla que las revoluciones permanezcan constantes.

Se procederá igual que la primera parte tomando los mismos datos, salvo que en el casillero de las revoluciones el valor será constante.

9. Cuando todas las mediciones han sido realizadas, el motor se apaga. Se cierra el sistema de refrigeración y se apaga la bomba.

3.2.2. Potencia al freno.

3.2.2.1. Realización de la práctica.

La práctica consiste de dos partes, una experimental donde se toman los datos, y un cálculo posterior, donde esos datos se utilizan para obtener diferentes resultados para analizar.

3.2.2.2. Objetivos.

Hacer funcionar el freno Froude y dinamómetro en las condiciones de prueba.

Trazar las graficas de potencia al freno.

3.2.2.3. Equipos.

Dinamómetro freno Froude, Motor Diésel Perkins 4 tiempos: La prueba con el acelerador totalmente abierto es un buen método por el cual puede determinarse la potencia máxima de un motor a cualquier velocidad en RPM dentro del intervalo de funcionamiento del motor. Esto también nos permite comparar la potencia real con la indicada en las especificaciones del fabricante para el motor Diésel Perkins. Las curvas cubren el intervalo de 500 a 2000 RPM. Los valores de potencia en caballos se marcan sobre el lado izquierdo de la grafica, en tanto que los valores de par de rotación lo están sobre el lado derecho.

El par de rotación máximo se desarrolla a 2800 RPM. A esta velocidad la potencia es de 3,1 HP.

La potencia máxima (3.5 HP) se desarrolla a 3600 RPM cuando el par de rotación es de 5.1 lb-pie.

Ni la potencia ni el par de rotación permanecen constantes a los diversos valores de RPM.

Generalmente las hojas de especificaciones dan la potencia y el par de rotación máximos, y las rpm a las que se producen.

La mayoría de los motores no operan continuamente a la velocidad correspondiente a la potencia nominal, por lo que es conveniente saber que potencia se desarrolla a valores superiores e inferiores de RPM.

En todas las pruebas realizadas se hacen sin interrupciones y los cambios de velocidad deben hacerse siempre en el mismo sentido, hacia abajo en el intervalo de

RPM es decir se las pruebas las realizamos principiando con una alta velocidad y descendiendo después., entonces todas las pruebas tienen que iniciarse desde una velocidad alta. Conviene proceder siempre de este modo, pues así es menos probable que se sobrecaliente el motor. Para efectuar una prueba completa no debe requerir más de 5 minutos.

3.2.2.3. Procedimiento.

1. Antes de arrancar el motor se hizo una revisión pre operacional, y los procedimiento de arranque estandarizados.
2. Poner la perilla de control de carga en la posición mínima (estos es girándola hasta el tope en el sentido de las agujas del reloj).
3. Arrancar el motor y ajustar el acelerador para 2000 RPM. Dejar calentar durante unos segundos.
4. Registrar la indicación del par de rotación: a 2000RPM en lb-pie
5. Calcular la potencia
6. Anotamos los valores de par de rotación y de potencia en la tabla en los espacios correspondientes a 2000 RPM.
7. Con el acelerador en la posición de apertura total, ajuste el control de carga para las velocidades de motor dadas en la tabla y anotamos la lectura del par de rotación para cada velocidad.

8. Cuando todas las lecturas del par de rotación hayan sido registradas, suprima la carga, reduzca la apertura del acelerador poniéndolo en marcha mínima y pare el motor.
9. Trace las curvas de par de rotación y de potencia utilizando los valores calculados y registrando en la tabla.

3.2.3 Consumo de combustible.

3.2.3.1. Realización de la práctica.

Es necesario conocer las características de motor a base de unas curvas que nos dan idea de defectos de proyecto o bien diferencias en la puesta a punto. Es muy importante pues, determinar la curva de consumo. Esta curva se obtiene en el banco de pruebas y de esta manera se conocen los consumos no solamente propios de cada motor, sino también a los distintos regímenes de carga del mismo. Igualmente se puede apreciar que distintos combustibles (diferencia de calidad) pueden dar lugar a notables diferencias de consumo, y por lo tanto, hacer que el coste de la explotación pueda ser superior a lo previsto.

Es interesante obtener la curva de consumo, en gramos por caballo efectivo y hora, a distintos regímenes de velocidad. Si los valores sedan en tanto por ciento de la carga, se puede apreciar que alrededor del 85 % de la carga total del motor se encuentra el punto de mínimo consumo. Cada día se generaliza indicarlo más en gr / kW - h.

El consumo por cada hora de funcionamiento es un dato de interés práctico en automoción, pues permite, conocida la capacidad del depósito, deducir la autonomía del vehículo.

En el orden técnico lo interesante es conocer el consumo en gramos por caballo hora, puesto que permite comparar directamente con diversos tipos de motores, siempre que el combustible empleado tenga la misma potencia calorífica, así mismo permite comparar diversos tipos de combustibles. Siempre que el motor empleado sea el mismo como es el caso de la presente tesis. Normalmente el combustible empleado en los motores Diésel tiene una potencia calorífica de diez mil kilocalorías por kilogramo, hoy día se mide ya en kilo-julios por Kg y suele valer 42000 KJ-Kg.

3.2.3.2. Medición controlando el volumen consumido.²⁵

Este método consiste en cronometrar el tiempo en que se consume un determinado volumen de combustible. El recipiente destinado a la medición de este volumen recibe el nombre de fluviómetro. La capacidad del fluviómetro debe ser proporcional al motor, de forma que permita una prueba racional y que no sobrepasen los 2 minutos.

El fluviómetro consiste en un recipiente de vidrio de una capacidad determinada que, para permitir con precisión la lectura, lleva en su parte superior una señal o referencia en un cuello muy estrecho, y otra señal igual en el estrechamiento inferior indicando así el volumen contenido. En la parte inferior lleva un grifo de 3 pasos mediante el cual puede ponerse en comunicación directa el depósito de combustible en el motor.

Se llena el fluviómetro sin cortar el combustible al motor y se mide el consumo de combustible incomunicando el depósito. Se mantiene el motor en marcha hasta alcanzar la temperatura de régimen y las condiciones de carga a las cuales se quiere determinar el consumo.

²⁵ Alonso J M: Sistemas de Inyección de Combustible en los Motores Diesel pp. 156-157.

Después lleno el fluviómetro hasta la señal superior, se cronometra el tiempo, dejando bajar el nivel hasta la señal inferior.

Con estos datos, o sea el volumen V consumido, el tiempo empleado en ello y los datos de la potencia efectiva al freno, se puede obtener el consumo específico. En gramos-caballo-hora.

Si se multiplica 3600(que son los segundos que tiene una hora), por el volumen que ha circulado, por la densidad del combustible empleado y el resultado se divide por el producto del tiempo que hemos cronometrado, y la potencia efectiva que nos marca el freno, tendremos el consumo en gramos por CV efectivo y hora. Es decir empleando la formula:

$$\text{Consumo} = 3600 \times \text{Volumen} \times \text{densidad} / \text{tiempo} \times \text{Potencia Efectiva} \quad (18)$$

donde:

Volumen en centímetros cúbicos

Tiempo en segundos.

Potencia en CV.

El resultado vendrá dado en gramos por caballo efectivo y por hora y se indica así:

$$\text{gr /CV - h}$$

El consumo de combustible es la masa de combustible que se consume en determinado tiempo.

$$c = \rho_{\text{Combustible}} \times V / t \quad (\text{Kg-m} / \text{s}) \quad (19)$$

donde:

$\rho_{\text{Combustible}}$ = densidad del combustible (gr/cm^3)

V = volumen determinado (cm^3)

t = tiempo que se demora en consumirse V (s)

3.2.3.3 Consumo específico de combustible.

El consumo específico de combustible determina cuanto combustible se está gastando frente a cuanta potencia se recibe.

$$c_e = c_c / P_f \quad (\text{Kg-m} / \text{HP.h}) \quad (20)$$

3.3. Pruebas realizadas a los gases de la combustión.

3.3.1. Gases de combustión.

3.3.1.1. Equipo utilizado.

Se utilizó el analizador de gases marca TESTO 350 M/XL, el cual por reacción del gas en celdas electroquímicas determina la concentración de: oxígeno, monóxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, tiene incorporada una termocupla tipo "K" la misma que mide la temperatura del gas y también calcula la eficiencia de la combustión y el porcentaje de dióxido de carbono.

El Testo 350XL modelo es el analizador portable más innovador de la combustión hasta la fecha.



Fuente: CCICEV – Quito¹⁴

Figura 30. Analizador de gases TESTO 350 M/XL

El Testo 350 XL se utiliza para los motores de combustión interna, el Diésel, los motores de las turbinas de gas, de jet y las calderas para uso general con carbón.

Parámetro	Rango
O ₂	0-25%
CO	0-10,000 ppm H ₂ compensado
NO	0-3,000 ppm
NO ₂	0-500 ppm
SO ₂	0-5,000 ppm
H ₂ S	0-300 ppm (@ 0.01% PPM)
CO Rinse	Protección automática de sobre Rango
Válvula de purgación	Manual y automática, Aire Fresco y Prueba de Largo Plazo
Método de Detección	Sensors Electroquímicos
Power Requirement:	110 –230, 90-260V, o batería recargable
Approx. Peso:	30 lbs.

Fuente: CCICEV – Quito¹⁴

Tabla 15. Datos técnicos.

3.3.1.2. Descripción del trabajo.

Los monitores fueron realizados en conjunto con el personal técnico de la Escuela Politécnica Nacional.

Para determinar la composición de los gases de combustión, se analiza “in situ”, aplicando el procedimiento PEE/UNIMEG/01 desarrollado por la Unidad de Monitoreo de Emisiones Gaseosas (ver ANEXOIII).

3.3.2. La Opacidad.

3.3.2.1. Equipos.

El opacímetro utilizado para la toma de datos de opacidad es el modelo MAHA MDO2, el cual posee una sonda célula de medición de acero inoxidable, puede realizar mediciones instantáneas o continuas, su funcionamiento es controlado por menú. Gráfica para la comparación de RPM. Representación gráfica y digital de los datos medidos. El display integrado en el mando anuncia los resultados de medición. El Opacímetro MDO2 responde a las normas ECE R 24, ISO 3173, ISO/TC 22/ SC 5 N 650, y está autorizado para la inspección de vehículos Diésel.



Fuente: CCICEV – Quito¹⁴

Figura 31. Opacímetro MAHA MDO2

OPACIMETRO:	
Sistema de medición	Absorción fotométrica
Longitud de la célula de medición	430 mm
Longitud del rayo de luz	567 nm
Diámetro interior y exterior de la célula de medición	28 / 25 mm
Dimensiones (largo, alto, ancho)	550 x 245 x 240 mm
Peso	13 kg
Alimentación de corriente	12 / 24 V

Fuente: CCICEV – Quito¹⁴

Tabla 16. Datos técnicos.

3.3.1.2. Descripción del trabajo y método de ensayo.

Para La realización de la presente prueba, se siguió el procedimiento de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 202:2000 (ver ANEXO IV), “Determinación de la opacidad de emisiones de Escape de motores Diésel mediante la prueba estática. Método de Aceleración Libre” que tiene como objeto el establecer el método de ensayo para determinar el porcentaje de opacidad de las emisiones de escape de las fuentes móviles con motor Diésel mediante el método de aceleración libre.

Método de ensayo que se basa en la determinación del porcentaje de luz visible que se absorbe y refleja cuando un haz de esta atraviesa la corriente de las emisiones provenientes del sistema de escape, para lo cual se siguió el procedimiento 5.3 y 5.4 de dicha norma, obteniéndose los siguientes resultados conforme al informe técnico presentado por la institución que realiza esta prueba como lo requiere el artículo 5.5.2 de la misma norma, en este caso El Centro de Revisión Vehicular Emisiones de la Escuela Superior Politécnica Nacional:

El uso del opacímetro se hace para determinar la opacidad de los gases de escape. Esto se hace para cinco puntos que son muy importantes en el rendimiento de un motor; a 1000, 1250, 1500, 1750 y 2000 rpm. La opacidad es medida en porcentajes.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS OBTENIDOS.

4.1. Pruebas físico – químicas.

4.1.1. Destilación

4.1.1.1. Tabulación de datos experimentales.

Una vez realizado los procedimientos descritos y utilizando los métodos ASTM D-86:00 Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure. e INEN NTE 0926:84 Productos de Petróleo: Ensayo de Destilación, para Diésel y mezclas de Biodiésel presentaron los siguientes datos experimentales:

Tabla 17. Temperatura experimental del la destilación.

DESTILACION [%]	DIÉSEL 100% [°C]	B - 2% [°C]	B - 5% [°C]	B - 10% [°C]	B - 15% [°C]	B - 100% [°C]
P.I.E.	166	165	163	162	162	---
10	210	209	209	210	214	---
20	225	228	226	230	234	---
30	240	242	240	247	253	---
40	255	257	258	262	267	---
50	269	272	272	276	283	---
60	282	284	286	289	295	---
70	296	299	301	304	305	---
80	312	313	313	315	216	---
90	334	333	330	334	336	---

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.1.1.2. Resultado destilación diésel 100%.

Tabla 18. Temperatura corregida de la destilación del diésel 100%.

DESTILACIÓN	DIÉSEL 100%		
VOLUMEN [% ml]	TEMPERATURA EXPERIMENTAL [°C]	FACTOR DE CORRECCION [°C]	TEMPERATURA CORREGIDA [°C]
PIE	166	28,31	194,3
10	210	12,64	222,6
20	225	13,03	238,0
30	240	13,42	253,4
40	255	13,81	268,8
50	269	14,18	283,2
60	283	14,54	297,5
70	296	14,89	310,9
80	312	15,30	327,3
90	334	15,88	349,9

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.1.1.3. Resultado Destilación Biodiésel 2%.

Tabla 19. Temperatura corregida de la destilación del biodiésel 2%.

DESTILACIÓN	BIODIÉSEL 2%		
VOLUMEN [% ml]	TEMPERATURA EXPERIMENTAL [°C]	FACTOR DE CORRECCION [°C]	TEMPERATURA CORREGIDA [°C]
PIE	165	11,46	176,5
10	209	12,61	221,6
20	228	13,11	241,1
30	242	13,47	255,5
40	257	13,86	270,9
50	272	14,26	286,3
60	284	14,57	298,6
70	299	14,96	314,0
80	313	15,33	328,3
90	333	15,85	348,9

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.1.1.4. Resultado destilación biodiésel 5%.

Tabla 20. Temperatura corregida de la destilación del biodiésel 5%.

DESTILACIÓN	BIDIÉSEL 5%		
VOLUMEN [% ml]	TEMPERATURA EXPERIMENTAL [°C]	FACTOR DE CORRECCION [°C]	TEMPERATURA CORREGIDA [°C]
PIE	163	11,41	174,4
10	209	12,61	221,6
20	226	13,05	239,1
30	240	13,42	253,4
40	258	13,89	271,9
50	272	14,26	286,3
60	286	14,62	300,6
70	301	15,02	316,0
80	313	15,33	328,3
90	330	15,77	345,8

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.1.1.5. Resultado destilación biodiésel 10%.

Tabla 21. Temperatura corregida de la destilación del biodiésel 10%.

DESTILACIÓN	BIDIÉSEL 10%		
VOLUMEN [% ml]	TEMPERATURA EXPERIMENTAL [°C]	FACTOR DE CORRECCION [°C]	TEMPERATURA CORREGIDA [°C]
PIE	162	11,38	173,4
10	210	12,64	222,6
20	230	13,16	243,2
30	247	13,60	260,6
40	262	14,00	276,0
50	276	14,36	290,4
60	289	14,70	303,7
70	304	15,09	319,1
80	315	15,38	330,4
90	334	15,88	349,9

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.1.1.6. Resultado destilación biodiésel 15%.

Tabla 22. Temperatura corregida de la destilación del biodiésel 15%

DESTILACIÓN	BIODIÉSEL 15%		
VOLUMEN [% ml]	TEMPERATURA EXPERIMENTAL [°C]	FACTOR DE CORRECCION [°C]	TEMPERATURA CORREGIDA [°C]
PIE	162	11,38	173,4
10	214	12,74	226,7
20	234	13,26	247,3
30	253	13,76	266,8
40	267	14,13	281,1
50	283	14,54	297,5
60	295	14,86	309,9
70	305	15,12	320,1
80	316	15,41	331,4
90	336	15,93	351,9

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.1.2. Punto de inflamación.

4.1.2.1. Tabulación de datos experimentales.

Una vez realizado los procedimientos descritos en el capítulo 3 utilizando los métodos ASTM D-93: Standard Test Methods for Flash-Point by Pensky Martens Closed Cup Tester. e INEN NTE 1047:84 Productos de Petróleo Punto de Inflamación en copa cerrada Método TAG.

Tabla 23. Punto inflamación experimental.

MEZCLAS BIODIÉSEL [%]	PUNTO INFLAMACIÓN EXPERIMENTAL U OBSERVADO [°C]
DIÉSEL 100%	61
BIODIÉSEL 2%	60
BIODIÉSEL 5%	56
BIODIÉSEL 10%	55
BIODIÉSEL 15%	53
BIODIÉSEL 100%	---

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

PARA DIÉSEL 100%	$PIC = 61 + 0,033 (760-542) = 68,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
PARA BIODIÉSEL 2%	$PIC = 60 + 0,033 (760-542) = 67,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
PARA BIODIÉSEL 5%	$PIC = 56 + 0,033 (760-542) = 63,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
PARA BIODIÉSEL 10%	$PIC = 55 + 0,033 (760-542) = 62,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
PARA BIODIÉSEL 15%	$PIC = 53 + 0,033 (760-542) = 60,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Tabla 24. Punto inflamación corregido.

MEZCLAS BIODIÉSEL [%]	PUNTO INFLAMACIÓN EXPERIMENTAL [°C]	FACTOR CORRECCION	PUNTO INFLAMACION CORREGIDO [°C]
DIÉSEL 100%	61	7,2	68,2
BIODIÉSEL 2%	60	7,2	67,2
BIODIÉSEL 5%	56	7,2	63,2
BIODIÉSEL 10%	56	7,2	62,2
BIODIÉSEL 15%	53	7,2	60,2
BIODIÉSEL 100%	---	7,2	-----

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya.

4.1.3. Densidad API y gravedad específica.

4.1.3.1. Tabulación de datos experimentales.

Una vez realizado los procedimientos descritos en el capítulo 3 utilizando los métodos ASTM D-1298:99 Standard Test method for Density, Specific Gravity, or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method e NTE 2319:01 Productos derivados de Petróleo: Determinación de la densidad API, para diésel y mezclas de biodiésel presentaron los siguientes datos experimentales:

Tabla 25. Densidad API Experimental.

MEZCLAS BIODIÉSEL [%]	°API EXPERIMENTAL [° API]	TEMPERATURA AMBIENTE [°F]
DIÉSEL 100%	35,4	64
BIODIÉSEL 2%	35	61
BIODIÉSEL 5%	35	62
BIODIÉSEL 10%	34,5	60
BIODIÉSEL 15%	34,3	64
BIODIÉSEL 100%	30	65

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya.

4.1.3.2. Resultados densidad API.

Se proceden a realiza las correcciones a 60 °F de cada uno de los combustibles mediante. (ver ANEXO I), en donde habrá la necesidad en ciertos casos de interpolar los datos para obtener valores más exactos.

Tabla 26. Densidad API 60°F.

MEZCLAS BIODIÉSEL [%]	°API GRAVITY [60°F]
DIÉSEL 100%	35,1
BIODIÉSEL 2%	34,9
BIODIÉSEL 5%	34,8
BIODIÉSEL 10%	34,5
BIODIÉSEL 15%	34
BIODIÉSEL 100%	29,7

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.1.3.3. Calculo gravedad específica.

- Para el diésel 100%, con API de 35,1 la gravedad específica es la siguiente:

$$GSP = \frac{141.5}{35,1 + 131.5} = 0.8493$$

- Para el biodiésel 2%, con API de 34.9 la gravedad específica es la siguiente:

$$GSP = \frac{141.5}{34,9 + 131.5} = 0.8504$$

- Para el biodiésel 5%, con API de 34.0 la gravedad específica es la siguiente:

$$GSP = \frac{141.5}{34,8 + 131.5} = 0.8509$$

- Para el biodiésel 10%, con API de 34.0 la gravedad específica es la siguiente:

$$GSP = \frac{141.5}{34,5 + 131.5} = 0.8524$$

- Para el biodiésel 15%, con API de 34.0 la gravedad específica es la siguiente:

$$GSP = \frac{141.5}{34.0 + 131.5} = 0.8550$$

- Para el biodiésel 100%, con API de 34.0 la gravedad específica es la siguiente:

$$GSP = \frac{141.5}{29,7 + 131.5} = 0.8778$$

Tabla 27. Gravedad específica 60°F.

MEZCLAS BIODIÉSEL [%]	GRAV. ESPECIFICA [60°F]
DIÉSEL 100%	0,8493
BIODIÉSEL 2%	0,8504
BIODIÉSEL 5%	0,8509
BIODIÉSEL 10%	0,8524
BIODIÉSEL 15%	0,8550
BIODIÉSEL 100%	0,8778

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.1.3.4. Calculo densidad 15°C.

Se proceden a realiza las correcciones a 15 °C de cada uno de los combustibles mediante. (ver ANEXO II), en donde habrá la necesidad en ciertos casos de interpolar los datos para obtener valores más exactos.

Tabla 28. Densidad 15°C.

MEZCLAS BIODIÉSEL [%]	DENSIDAD [15°C]
DIÉSEL 100%	0,8489
BIODIÉSEL 2%	0,8499
BIODIÉSEL 5%	0,8504
BIODIÉSEL 10%	0,8520
BIODIÉSEL 15%	0,8545
BIODIÉSEL 100%	0,8773

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya.

4.1.4. Índice de cetano

4.1.4.1. Resultados índice de cetano.

Una vez realizado los procedimientos descritos en el capítulo 3 utilizando los métodos ASTM D-976:1995 Standard test Methods for Calculated Cetane Index of Distillate Fuels e INEN NTE 1495:87 Productos derivados de Petróleo: Determinación del índice de cetano calculado, para diésel y mezclas de biodiésel presentaron los siguientes datos experimentales:

La destilación ASTM del diésel y mezclas de biodiésel al 50 % de recuperado nos dio una temperatura corregida de:

Tabla 29. Temperatura de destilación al 50%.

MEZCLAS BIODIÉSEL [%]	TEMP DESTILACION 50% [°C]
BIÉSEL 100%	541,76
BIODIÉSEL 2%	547,34
BIODIÉSEL 5%	547,34
BIODIÉSEL 10%	554,72
BIODIÉSEL 15%	535,5
BIODIÉSEL 100%	-----

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya.

La densidad API corregida del diésel y mezclas de biodiésel es:

Tabla 30. Gravedad API 60°F.

MEZCLAS BIODIÉSEL	GRAVEDAD API 60°F
BIÉSEL 100%	35,1
BIODIÉSEL 2%	34,9
BIODIÉSEL 5%	34,8
BIODIÉSEL 10%	34,5
BIODIÉSEL 15%	34
BIODIÉSEL 100%	29,7

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya.

Con estos datos utilizamos dos métodos para el cálculo del índice de cetano, haciendo uso del ábaco o la fórmula para el cálculo del índice de cetano:

4.1.4.2. Método de ábaco

Se procede a determina el índice de cetano en el ábaco (figura 24), ubicando los valores de densidad API y de temperatura del 50% de recuperado de la muestra.

Aplicación de formula: Para determinar el valor del índice de cetano también se utiliza la formula:

$$CI = -420,34 + 0,016G^2 + 0,192G\text{Log}M + 65,10(\text{Log}M)^2 - 0,0001809M^2$$

donde :

CI = Índice de cetano calculado.

G = Gravedad API.

M = Temperatura de destilación al 50% de volumen recuperado.

- DIÉSEL 100%

$$CI = -420,34 + 0,016(35,1)^2 + 0,192(35,1)\text{Log}541,76 + 65,1(\text{Log}541,76)^2 - 0,0001809(541,76)^2$$

$$CI = 50,6$$

- DIÉSEL 2%

$$CI = -420,34 + 0,016(34,9)^2 + 0,192(34,9)\text{Log}547,34 + 65,1(\text{Log}547,34)^2 - 0,0001809(547,34)^2$$

$$CI = 50,8$$

- DIÉSEL 5%

$$CI = -420,34 + 0,016(34,8)^2 + 0,192(34,8)\text{Log}547,34 + 65,1(\text{Log}547,34)^2 - 0,0001809(547,34)^2$$

$$CI = 50,6$$

- DIÉSEL 10%

$$CI = -420,34 + 0,016(34,5)^2 + 0,192(34,5)\text{Log}554,72 + 65,1(\text{Log}554,72)^2 - 0,0001809(554,72)^2$$

$$CI = 50,7$$

- DIÉSEL 15%

$$CI = -420,34 + 0,016(34)^2 + 0,192(34)\text{Log}535,5 + 65,10(\text{Log}535,5)^2 - 0,0001809(535,5)^2$$

$$CI = 48,2$$

Tabla 31. Índice de cetano.

MEZCLAS BIODIÉSEL	INDICE CETANO
BIESEL 100%	50,6
BIODIÉSEL 2%	50,8
BIODIÉSEL 5%	50,6
BIODIÉSEL 10%	50,7
BIODIÉSEL 15%	48,2
BIODIÉSEL 100%	-----

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya.

4.1.5. Corrosión a la lámina de cobre.

4.1.5.1. Resultados de la corrosión a la lámina de cobre.

Una vez realizado los procedimientos descritos en el capítulo 3 utilizando los métodos ASTM D-130 Standard Test Method for Detection of Copper Corrosion from Petroleum Products by the Copper Strip Tarnish Test. e INEN NTE 0927:84 Productos de Petróleo: Determinación de la corrosión sobre lamina de cobre, para el diésel y mezclas de biodiésel presentaron los siguientes datos experimentales:

Los resultados obtenidos de las láminas de cobre después que estos han sido expuestas a las muestras de diésel y mezclas de biodiésel respectivamente por tres horas y al comparar con los estándares comparativos de corrosión ASTM (ver 3.1.5.4. figura 26) y corresponde a 1a lo que significa que la corrosión es ligera, y por lo tanto concluimos diciendo que se encuentra dentro de norma.

Tabla 32. Corrosión a la lámina de cobre.

MUESTRA	CORROSION
DIÉSEL 100%	1a
BIODIÉSEL 2%	1a
BIODIÉSEL 5%	1a
BIODIÉSEL 10%	1a
BIODIÉSEL 15%	1a

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya.

4.1.6. Viscosidad cinemática.

4.1.6.1. Tabulación de datos experimentales.

Una vez realizado los procedimientos descritos en el capítulo 3 utilizando los métodos ASTM D-445 Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids. e INEN NTE 0927:84 Productos de Petróleo: Determinación de la viscosidad cinemática en líquidos transparentes y opacos para diésel y mezclas de biodiésel presentaron los siguientes datos experimentales:

Tabla 33. Tiempo experimental.

MEZCLAS BIODIÉSEL	TIEMP. EXP. (seg)
DIÉSEL 100%	271
BIODIÉSEL 2%	268
BIODIÉSEL 5%	273
BIODIÉSEL 10%	281
BIODIÉSEL 15%	280
BIODIÉSEL 100%	590

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.1.6.2. Resultados viscosidad cinemática.

Tabla 34. Viscosidad cinemática.

MEZCLAS BIODIÉSEL	CONSTANTE VISCOSIMETRO	VISCOSIDAD (Cst)
DIÉSEL 100%	0,01351	3,661
BIODIÉSEL 2%	0,01351	3,621
BIODIÉSEL 5%	0,01351	3,688
BIODIÉSEL 10%	0,01351	3,796
BIODIÉSEL 15%	0,01351	3,783
BIODIÉSEL 100%	0,01351	7,971

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.2. Resultados en el motor.

4.2.1. Torque.

4.2.1.1. Resultados en el torque utilizando diésel 100%.

Tabla 35. Torque diésel 100%.

Nº	FRENO		AGUA			AIRE	GASES DE ESCAPE	COMBUSTIBLE
	F (Kg)	RPM	Te (°C)	Ts (°C)	Hcr (cm)	Hmi (cm)	Ts (°C)	T 50 cm³ (seg)
1	0,91	2000	21	35,0	21,08	7,11	108	102
2	4,99	1750	21	36,0	20,57	5,84	148	88
3	8,98	1500	21	37,0	19,81	3,81	206	77
4	11,88	1250	21	38,0	19,05	2,54	251	76
5	16,42	1000	21	38,5	18,29	1,78	298	69

RPM	Torque [Kg.m]
2000	0,33
1750	1,79
1500	3,23
1250	4,27
1000	5,91

Constante	Valor
Brazo (m)	0,35966
ρ [gr/cm³]	0,842
Pc [KJ/Kg]	44107,94

Fórmula:

$$F \times Brazo [Kg.m]$$

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya.

4.2.1.2. Resultados en el torque utilizando biodiésel 2%.

Tabla 36. Torque biodiésel 2%.

Nº	FRENO		AGUA			AIRE	GASES DE ESCAPE	COMBUSTIBLE
	F (Kg)	RPM	Te (°C)	Ts (°C)	Hcr (cm)	Hmi (cm)	Ts (°C)	T 50 cm³ (seg)
1	0,77	2000	22	32,0	23,88	6,35	132	106
2	2,00	1750	22	33,5	23,11	5,84	140	102
3	5,99	1500	22	34,0	22,10	3,81	185	91
4	9,89	1250	22	34,5	21,34	2,29	221	84
5	13,70	1000	22	38,5	20,57	1,52	264	80

RPM	Torque [Kg.m]
2000	0,28
1750	0,72
1500	2,15
1250	3,56
1000	4,93

Constante	Valor
Brazo (m)	0,35966
ρ [gr/cm³]	0,84266
Pc [KJ/Kg]	43223,83

Fórmula:

$$F \times Brazo [Kg.m]$$

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya.

4.2.1.3. Resultados en el torque utilizando biodiésel 5%.

Tabla 37. Torque biodiésel 5%.

Nº	FRENO		AGUA			AIRE	GASES DE ESCAPE	COMBUSTIBLE
	F (Kg)	RPM	Te (°C)	Ts (°C)	Hcr (cm)	Hmi (cm)	Ts (°C)	T 50 cm³ (seg)
1	0,91	2000	22	32	20,83	6,60	133	118
2	2,81	1750	22	33	20,32	5,84	151	107
3	6,44	1500	22	33	19,56	3,81	195	95
4	10,43	1250	22	34	19,05	2,54	231	83
5	14,97	1000	22	35	18,54	1,52	309	74

RPM	Torque [Kg.m]
2000	0,33
1750	1,01
1500	2,32
1250	3,75
1000	5,38

Constante	Valor
Brazo (m)	0,35966
ρ [gr/cm³]	0,84365
Pc [KJ/Kg]	43064,49

Fórmula:

$$F \times Brazo [Kg.m]$$

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya.

4.2.1.4. Resultados en el torque utilizando biodiésel 10%.

Tabla 38. Torque biodiésel 10%.

Nº	FRENO		AGUA			AIRE	GASES DE ESCAPE	COMBUSTIBLE
	F (Kg)	RPM	Te (°C)	Ts (°C)	Hcr (cm)	Hmi (cm)	Ts (°C)	T 50 cm³ (seg)
1	0,91	2000	22	32	21,34	6,86	151	95
2	4,08	1750	22	33	20,83	5,59	158	85
3	8,98	1500	22	33	19,81	3,30	200	76
4	12,06	1250	22	34	19,30	2,29	254	74
5	15,96	1000	22	35	18,80	1,27	330	69

RPM	Torque [Kg.m]
2000	0,33
1750	1,47
1500	3,23
1250	4,34
1000	5,74

Constante	Valor
Brazo (m)	0,35966
ρ [gr/cm³]	0,8453
Pc [KJ/Kg]	42799,10

Fórmula:

$$F \times Brazo [Kg.m]$$

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya.

4.2.1.5. Resultados en el torque utilizando biodiésel 15%.

Tabla 39. Torque biodiésel 15%.

Nº	FRENO		AGUA			AIRE	GASES DE ESCAPE	COMBUSTIBLE
	F (Kg)	RPM	Te (°C)	Ts (°C)	Hcr (cm)	Hmi (cm)	Ts (°C)	T 50 cm³ (seg)
1	0,77	2000	19	29,0	25,9	6,6	132	103
2	2,81	1750	19	30,0	25,2	5,8	147	95
3	7,17	1500	19	31,0	23,9	3,6	201	82
4	10,98	1250	19	31,0	22,9	2,0	241	79
5	15,60	1000	19	32,0	22,4	1,3	313	71

RPM	Torque [Kg.m]
2000	0,28
1750	1,01
1500	2,58
1250	3,95
1000	5,61

Constante	Valor
Brazo (m)	0,35966
ρ [gr/cm³]	0,84695
Pc [KJ/Kg]	42533,47

Fórmula:

$$F \times Brazo [Kg.m]$$

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya.

4.2.2. Potencia al freno.

4.2.2.1. Resultados en la potencia al freno utilizando diésel 100%.

Tabla 40. Potencia al freno diésel 100%.

Nº	FRENO		AGUA			AIRE	GASES DE ESCAPE	COMBUSTIBLE
	F (Kg)	RPM	Te (°C)	Ts (°C)	Hcr (cm)	Hmi (cm)	Ts (°C)	T 50 cm³ (seg)
1	0,91	2000	21	35,0	21,08	7,11	108	102
2	4,99	1750	21	36,0	20,57	5,84	148	88
3	8,98	1500	21	37,0	19,81	3,81	206	77
4	11,88	1250	21	38,0	19,05	2,54	251	76
5	16,42	1000	21	38,5	18,29	1,78	298	69

RPM	Torque [Kg.m]	Potencia al Freno [Cv]	Potencia al Freno [HP]
2000	0,33	0,91	0,90
1750	1,79	4,39	4,33
1500	3,23	6,76	6,67
1250	4,27	7,46	7,36
1000	5,91	8,25	8,13

Fórmula:

$$\text{Torque} \times \text{RPM} / 716,2 [\text{Cv}]$$

$$\text{Potencia} * 0,9863 [\text{HP}]$$

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya.

4.2.2.2. Resultados en la potencia al freno utilizando biodiésel 2%.

Tabla 41. Potencia al freno biodiésel 2%.

Nº	FRENO		AGUA			AIRE	GASES DE ESCAPE	COMBUSTIBLE
	F (Kg)	RPM	Te (°C)	Ts (°C)	Hcr (cm)	Hmi (cm)	Ts (°C)	T 50 cm³ (seg)
1	0,77	2000	22	32,0	23,88	6,35	132	106
2	2,00	1750	22	33,5	23,11	5,84	140	102
3	5,99	1500	22	34,0	22,10	3,81	185	91
4	9,89	1250	22	34,5	21,34	2,29	221	84
5	13,70	1000	22	38,5	20,57	1,52	264	80

RPM	Torque [Kg.m]	Potencia al Freno [Cv]	Potencia al Freno [HP]
2000	0,28	0,77	0,76
1750	0,72	1,76	1,73
1500	2,15	4,51	4,45
1250	3,56	6,21	6,12
1000	4,93	6,88	6,79

Fórmula:

$$\text{Torque} \times \text{RPM} / 716,2 [\text{Cv}]$$

$$\text{Potencia} * 0,9863 [\text{HP}]$$

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.2.2.3. Resultados en la potencia al freno utilizando biodiésel 5%.

Tabla 42. Potencia al freno biodiésel 5%

Nº	FRENO		AGUA			AIRE	GASES DE ESCAPE	COMBUSTIBLE
	F (Kg)	RPM	Te (°C)	Ts (°C)	Hcr (cm)	Hmi (cm)	Ts (°C)	T 50 cm³ (seg)
1	0,91	2000	22	32	20,83	6,60	133	118
2	2,81	1750	22	33	20,32	5,84	151	107
3	6,44	1500	22	33	19,56	3,81	195	95
4	10,43	1250	22	34	19,05	2,54	231	83
5	14,97	1000	22	35	18,54	1,52	309	74

RPM	Torque [Kg.m]	Potencia al Freno [Cv]	Potencia al Freno [HP]
2000	0,33	0,91	0,90
1750	1,01	2,47	2,44
1500	2,32	4,85	4,78
1250	3,75	6,55	6,46
1000	5,38	7,52	7,41

Fórmula:

$$Torque \times RPM / 716,2 [Cv]$$

$$Potencia * 0,9863 [HP]$$

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.2.2.4. Resultados en la potencia al freno utilizando biodiésel 10%.

Tabla 43. Potencia al freno biodiésel 10%.

Nº	FRENO		AGUA			AIRE	GASES DE ESCAPE	COMBUSTIBLE
	F (Kg)	RPM	Te (°C)	Ts (°C)	Hcr (cm)	Hmi (cm)	Ts (°C)	T 50 cm³ (seg)
1	0,91	2000	22	32	21,34	6,86	151	95
2	4,08	1750	22	33	20,83	5,59	158	85
3	8,98	1500	22	33	19,81	3,30	200	76
4	12,06	1250	22	34	19,30	2,29	254	74
5	15,96	1000	22	35	18,80	1,27	330	69

RPM	Torque [Kg.m]	Potencia al Freno [Cv]	Potencia al Freno [HP]
2000	0,33	0,91	0,90
1750	1,47	3,59	3,54
1500	3,23	6,76	6,67
1250	4,34	7,57	7,47
1000	5,74	8,01	7,90

Fórmula:

$$Torque \times RPM / 716,2 [Cv]$$

$$Potencia * 0,9863 [HP]$$

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya.

4.2.2.5. Resultados en la potencia al freno utilizando biodiésel 15%.

Tabla 44. Potencia al freno biodiésel 15%.

Nº	FRENO		AGUA			AIRE	GASES DE ESCAPE	COMBUSTIBLE
	F (Kg)	RPM	Te (°C)	Ts (°C)	Hcr (cm)	Hmi (cm)	Ts (°C)	T 50 cm³ (seg)
1	0,77	2000	19	29,0	25,9	6,6	132	103
2	2,81	1750	19	30,0	25,2	5,8	147	95
3	7,17	1500	19	31,0	23,9	3,6	201	82
4	10,98	1250	19	31,0	22,9	2,0	241	79
5	15,60	1000	19	32,0	22,4	1,3	313	71

RPM	Torque [Kg.m]	Potencia al Freno [Cv]	Potencia al Freno [HP]
2000	0,28	0,77	0,76
1750	1,01	2,47	2,44
1500	2,58	5,40	5,33
1250	3,95	6,89	6,80
1000	5,61	7,83	7,73

Fórmula:

$$\text{Torque} \times \text{RPM} / 716,2 [\text{Cv}]$$

$$\text{Potencia} * 0,9863 [\text{HP}]$$

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.2.3. Consumo específico de combustible.

4.2.3.1. Resultados en el consumo específico utilizando diésel 100%.

Tabla 45. Consumo específico combustible diésel 100%.

Nº	FRENO		AGUA			AIRE	GASES DE ESCAPE	COMBUSTIBLE
	F (Kg)	RPM	Te (°C)	Ts (°C)	Hcr (cm)	Hmi (cm)	Ts (°C)	T 50 cm³ (seg)
1	0,91	2000	21	35,0	21,08	7,11	108	102
2	4,99	1750	21	36,0	20,57	5,84	148	88
3	8,98	1500	21	37,0	19,81	3,81	206	77
4	11,88	1250	21	38,0	19,05	2,54	251	76
5	16,42	1000	21	38,5	18,29	1,78	298	69

RPM	Potencia al Freno [HP]	Consumo Combustible [gr/s]	C. Especifico Combustible [gr/HP.h]
2000	0,90	0,41	1648,34
1750	4,33	0,48	398,20
1500	6,67	0,55	295,03
1250	7,36	0,55	271,13
1000	8,13	0,61	270,08

Fórmulas:

$$cc = \rho_{Combs} \times 50cm^3 / T_{50cm^3}$$

$$cec = (cc \times 3600) / Potencia Freno$$

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.2.3.2. Resultados en el consumo específico utilizando biodiésel 2%.

Tabla 46. Consumo específico combustible biodiésel 2%.

Nº	FRENO		AGUA			AIRE	GASES DE ESCAPE	COMBUSTIBLE
	F (Kg)	RPM	Te (°C)	Ts (°C)	Hcr (cm)	Hmi (cm)	Ts (°C)	T 50 cm³ (seg)
1	0,77	2000	22	32,0	23,88	6,35	132	106
2	2,00	1750	22	33,5	23,11	5,84	140	102
3	5,99	1500	22	34,0	22,10	3,81	185	91
4	9,89	1250	22	34,5	21,34	2,29	221	84
5	13,70	1000	22	38,5	20,57	1,52	264	80

RPM	Potencia al Freno [HP]	Consumo Combustible [gr/s]	C. Especifico Combustible [gr/HP.h]
2000	0,76	0,40	1875,99
1750	1,73	0,41	857,81
1500	4,45	0,46	374,54
1250	6,12	0,50	294,90
1000	6,79	0,53	279,41

Fórmulas:

$$cc = \rho_{Combs} \times 50cm^3 / T_{50cm^3}$$

$$cec = (cc \times 3600) / Potencia Freno$$

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.2.3.3. Resultados en el consumo específico utilizando biodiésel 5%.

Tabla 47. Consumo específico combustible biodiésel 5%

Nº	FRENO		AGUA			AIRE	GASES DE ESCAPE	COMBUSTIBLE
	F (Kg)	RPM	Te (°C)	Ts (°C)	Hcr (cm)	Hmi (cm)	Ts (°C)	T 50 cm³ (seg)
1	0,91	2000	22	32	20,83	6,60	133	118
2	2,81	1750	22	33	20,32	5,84	151	107
3	6,44	1500	22	33	19,56	3,81	195	95
4	10,43	1250	22	34	19,05	2,54	231	83
5	14,97	1000	22	35	18,54	1,52	309	74

RPMº	Potencia al Freno [HP]	Consumo Combustible [gr/s]	C. Especifico Combustible [gr/HP.h]
2000	0,90	0,36	1427,63
1750	2,44	0,39	582,69
1500	4,78	0,44	334,09
1250	6,46	0,51	283,33
1000	7,41	0,57	276,77

Fórmulas:

$$cc = \rho_{Combs} \times 50cm^3 / T_{50cm^3}$$

$$cec = (cc \times 3600) / \text{Potencia Freno}$$

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.2.3.4. Resultados en el consumo específico utilizando biodiésel 10%.

Tabla 48. Consumo específico combustible biodiésel 10%.

Nº	FRENO		AGUA			AIRE	GASES DE ESCAPE	COMBUSTIBLE
	F (Kg)	RPM	Te (°C)	Ts (°C)	Hcr (cm)	Hmi (cm)	Ts (°C)	T 50 cm³ (seg)
1	0,91	2000	22	32	21,34	6,86	151	95
2	4,08	1750	22	33	20,83	5,59	158	85
3	8,98	1500	22	33	19,81	3,30	200	76
4	12,06	1250	22	34	19,30	2,29	254	74
5	15,96	1000	22	35	18,80	1,27	330	69

RPM	Potencia al Freno [HP]	Consumo Combustible [gr/s]	C. Especifico Combustible [gr/HP.h]
2000	0,90	0,44	1776,73
1750	3,54	0,50	506,17
1500	6,67	0,56	300,08
1250	7,47	0,57	275,38
1000	7,90	0,61	278,96

Fórmulas:

$$cc = \rho_{Combs} \times 50cm^3 / T_{50cm^3}$$

$$cec = (cc \times 3600) / \text{Potencia Freno}$$

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.2.3.5. Resultados en el consumo específico utilizando biodiésel 15%.

Tabla 49. Consumo específico combustible biodiésel 15%.

Nº	FRENO		AGUA			AIRE	GASES DE ESCAPE	COMBUSTIBLE
	F (Kg)	RPM	Te (°C)	Ts (°C)	Hcr (cm)	Hmi (cm)	Ts (°C)	T 50 cm³ (seg)
1	0,77	2000	19	29,0	25,9	6,6	132	103
2	2,81	1750	19	30,0	25,2	5,8	147	95
3	7,17	1500	19	31,0	23,9	3,6	201	82
4	10,98	1250	19	31,0	22,9	2,0	241	79
5	15,60	1000	19	32,0	22,4	1,3	313	71

RPM	Potencia al Freno [HP]	Consumo Combustible [gr/s]	C. Específico Combustible [gr/HP.h]
2000	0,76	0,41	1940,46
1750	2,44	0,45	658,86
1500	5,33	0,52	349,01
1250	6,80	0,54	283,87
1000	7,73	0,60	277,89

Fórmulas:

$$cc = \rho_{Combs} \times 50cm^3 / T_{50cm^3}$$

$$cec = (cc \times 3600) / Potencia Freno$$

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.2.4. Eficiencia total.

4.2.4.1. Resultados en la eficiencia utilizando diésel 100%.

Tabla 50. Eficiencia total diésel 100%.

Nº	FRENO		AGUA			AIRE	GASES DE ESCAPE	COMBUSTIBLE
	F (Kg)	RPM	Te (°C)	Ts (°C)	Hcr (cm)	Hmi (cm)	Ts (°C)	T 50 cm³ (seg)
1	0,91	2000	21	35,0	21,08	7,11	108	102
2	4,99	1750	21	36,0	20,57	5,84	148	88
3	8,98	1500	21	37,0	19,81	3,81	206	77
4	11,88	1250	21	38,0	19,05	2,54	251	76
5	16,42	1000	21	38,5	18,29	1,78	298	69

RPM	Potencia al Freno [HP]	Consumo Combustible [gr/s]	Potencia teórica [HP]	Eficiencia total [%]
2000	0,90	0,41	25,69	3,51
1750	4,33	0,48	29,78	14,52
1500	6,67	0,55	34,03	19,60
1250	7,36	0,55	34,48	21,33
1000	8,13	0,61	37,98	21,41

Fórmulas:

$$P_{te} = \left(P_c \times \left(\frac{cc}{1000} \right) \right) / 0,7068$$

$$E_{fic} = (P_f \times 100) / P_{te}$$

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya.

4.2.4.2. Resultados en la eficiencia utilizando biodiésel 2%.

Tabla 51. Eficiencia total biodiésel 2%.

Nº	FRENO		AGUA			AIRE	GASES DE ESCAPE	COMBUSTIBLE
	F (Kg)	RPM	Te (°C)	Ts (°C)	Hcr (cm)	Hmi (cm)	Ts (°C)	T 50 cm³ (seg)
1	0,77	2000	22	32,0	23,88	6,35	132	106
2	2,00	1750	22	33,5	23,11	5,84	140	102
3	5,99	1500	22	34,0	22,10	3,81	185	91
4	9,89	1250	22	34,5	21,34	2,29	221	84
5	13,70	1000	22	38,5	20,57	1,52	264	80

RPM	Potencia al Freno [HP]	Consumo Combustible [gr/s]	Potencia teórica [HP]	Eficiencia total [%]
2000	0,76	0,40	24,25	3,15
1750	1,73	0,41	25,20	6,88
1500	4,45	0,46	28,24	15,76
1250	6,12	0,50	30,60	20,01
1000	6,79	0,53	32,13	21,12

Fórmulas:

$$P_{te} = \left(P_c \times \left(\frac{cc}{1000} \right) \right) / 0,7068$$

$$E_{fic} = (P_f \times 100) / P_{te}$$

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.2.4.3. Resultados en la Eficiencia utilizando Biodiésel 5%.

Tabla 52. Eficiencia total biodiésel 5%.

Nº	FRENO		AGUA			AIRE	GASES DE ESCAPE	COMBUSTIBLE
	F (Kg)	RPM	Te (°C)	Ts (°C)	Hcr (cm)	Hmi (cm)	Ts (°C)	T 50 cm³ (seg)
1	0,91	2000	22	32	20,83	6,60	133	118
2	2,81	1750	22	33	20,32	5,84	151	107
3	6,44	1500	22	33	19,56	3,81	195	95
4	10,43	1250	22	34	19,05	2,54	231	83
5	14,97	1000	22	35	18,54	1,52	309	74

RPM	Potencia al Freno [HP]	Consumo Combustible [gr/s]	Potencia teórica [HP]	Eficiencia total [%]
2000	0,90	0,36	21,73	4,15
1750	2,44	0,39	23,96	10,17
1500	4,78	0,44	26,99	17,73
1250	6,46	0,51	30,89	20,91
1000	7,41	0,57	34,64	21,40

Fórmulas:

$$P_{te} = \left(P_c \times \left(\frac{cc}{1000} \right) \right) / 0,7068$$

$$E_{fic} = (P_f \times 100) / P_{te}$$

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.2.4.4. Resultados en la eficiencia utilizando biodiésel 10%.

Tabla 53. Eficiencia total biodiésel 10%.

Nº	FRENO		AGUA			AIRE	GASES DE ESCAPE	COMBUSTIBLE
	F (Kg)	RPM	Te (°C)	Ts (°C)	Hcr (cm)	Hmi (cm)	Ts (°C)	T 50 cm³ (seg)
1	0,91	2000	22	32	21,34	6,86	151	95
2	4,08	1750	22	33	20,83	5,59	158	85
3	8,98	1500	22	33	19,81	3,30	200	76
4	12,06	1250	22	34	19,30	2,29	254	74
5	15,96	1000	22	35	18,80	1,27	330	69

RPM	Potencia al Freno [HP]	Consumo Combustible [gr/s]	Potencia teórica [HP]	Eficiencia total [%]
2000	0,90	0,44	26,87	3,35
1750	3,54	0,50	30,03	11,78
1500	6,67	0,56	33,59	19,86
1250	7,47	0,57	34,50	21,64
1000	7,90	0,61	37,00	21,37

Fórmulas:

$$P_{te} = \left(P_c \times \left(\frac{cc}{1000} \right) \right) / 0,7068$$

$$E_{fic} = (P_f \times 100) / P_{te}$$

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.2.4.5. Resultados en la eficiencia utilizando biodiésel 15%

Tabla 54. Eficiencia total biodiésel 15%.

Nº	FRENO		AGUA			AIRE	GASES DE ESCAPE	COMBUSTIBLE
	F (Kg)	RPM	Te (°C)	Ts (°C)	Hcr (cm)	Hmi (cm)	Ts (°C)	T 50 cm³ (seg)
1	0,77	2000	19	29,0	25,9	6,6	132	103
2	2,81	1750	19	30,0	25,2	5,8	147	95
3	7,17	1500	19	31,0	23,9	3,6	201	82
4	10,98	1250	19	31,0	22,9	2,0	241	79
5	15,60	1000	19	32,0	22,4	1,3	313	71

RPM	Potencia al Freno [HP]	Consumo Combustible [gr/s]	Potencia teórica [HP]	Eficiencia total [%]
2000	0,76	0,41	24,68	3,09
1750	2,44	0,45	26,76	9,10
1500	5,33	0,52	31,00	17,18
1250	6,80	0,54	32,18	21,13
1000	7,73	0,60	35,80	21,58

Fórmulas:

$$P_{te} = \left(P_c \times \left(\frac{cc}{1000} \right) \right) / 0,7068$$

$$E_{fic} = (P_f \times 100) / P_{te}$$

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya.

4.3. Gases de la combustión.

Para obtener datos de la combustión de varias mezclas de Biodiésel, se realizan análisis químicos de las emisiones del motor en funcionamiento con dichas mezclas y a diferentes RPM, por tanto, se han contratado los servicios de la Unidad de Monitoreo de Emisiones Gaseosas de la Escuela Politécnica Nacional para realizar dicho trabajo. A continuación se reportan los resultados de los análisis realizados.

El uso del analizador de gases se hace para determinar la calidad de la combustión. Esto se hace para tres puntos que son muy importantes en el rendimiento de un motor; a 1000, 1500, 2000 rpm. Dentro de los gases analizados se tienen el monóxido de carbono CO, dióxido de carbono CO₂, y el oxígeno O₂ en que son medidos en porcentaje en volumen de gases secos, mientras que HC y NO_x son medidos en partes por millón (ppm) de gases secos.

4.3.1. Resultados obtenidos diésel 100%.

A continuación se reportan los resultados de los análisis a las diferentes velocidades.

Tabla 55. Emisiones utilizando diésel 100% - 2.000 RPM.

PARÁMETRO	M 1	M2	M3	M4	M5	M6	PROM
Temperatura gases de salida [°C]	123,8	125	126,1	128,3	127,6	126,3	126,2
Oxígeno [%]	16,15	16,17	16,19	16,14	16,15	16,13	16,2
Dióxido de carbono [%]	2,68	2,66	2,66	2,68	2,67	2,69	2,7
Monóxido de carbono [ppm]	1288	1316	1337	1347	1356	1382	1337,7
Dióxido de azufre [ppm]	48	51	46	45	45	44	46,5
Óxidos de nitrógeno [ppm]	180	179	180	182	179	178	179,7
Exceso de Aire (%)	284,6	286,4	287,4	283,6	284,4	283,2	284,9
Eficiencia (%)	284,6	286,4	287,4	283,6	284,8	283,2	285

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

Tabla 56. Emisiones utilizando diésel 100% - 1.500 RPM.

PARÁMETRO	M 1	M2	M3	M4	M5	M6	PROM
Temperatura gases de salida [°C]	165,7	153	148,3	141	136,5	140	147,4
Oxígeno [%]	13,46	13,54	13,56	13,89	14,11	13,89	13,7
Dióxido de carbono [%]	4,18	4,13	4,12	3,94	3,82	3,94	4,0
Monóxido de carbono [ppm]	645	656	657	627	595	614	632,3
Dióxido de azufre [ppm]	58	64	65	64	60	60	61,8
Óxidos de nitrógeno [ppm]	316	309	305	299	292	301	303,7
Exceso de Aire (%)	155,3	158,1	158,7	170,2	178,6	170,6	165,3
Eficiencia (%)	79,3	80,2	80,6	80,8	80,9	80,9	80,5

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

Tabla 57. Emisiones utilizando diésel 100% - 1.000 RPM.

PARÁMETRO	M 1	M2	M3	M4	M5	M6	PROM
Temperatura gases de salida [°C]	220,3	226,3	229,3	233,4	234,2	236,3	230
Oxígeno [%]	7,75	7,68	7,64	7,53	7,50	7,58	7,6
Dióxido de carbono [%]	7,37	7,41	7,43	7,49	7,51	7,46	7,4
Monóxido de carbono [ppm]	1638	1668	1615	1641	1723	1706	1665,2
Dióxido de azufre [ppm]	134	144	149	153	157	158	149,2
Óxidos de nitrógeno [ppm]	590	593	593	596	605	597	595,7
Exceso de Aire (%)	51	50,2	49,8	48,7	48,3	49,2	49,5
Eficiencia (%)	81,6	81,3	81,2	81,1	81,1	81,1	81,2

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.3.2. Resultados obtenidos biodiésel 2%.

Tabla 58. Emisiones utilizando biodiésel 2% - 2.000 RPM.

PARÁMETRO	M 1	M2	M3	M4	M5	M6	PROM
Temperatura gases de salida [°C]	145,6	148,1	148,5	148,9	149,1	149,1	148,2
Oxígeno [%]	15,77	15,76	15,77	15,78	15,76	15,75	15,8
Dióxido de carbono [%]	2,89	2,89	2,89	2,88	2,89	2,90	2,9
Monóxido de carbono [ppm]	1373	1391	1403	1410	1376	1370	1387,2
Dióxido de azufre [ppm]	42	48	48	49	47	46	46,7
Óxidos de nitrógeno [ppm]	174	175	174	176	179	180	176,3
Exceso de Aire (%)	258,4	257,9	258,5	259	258	257	258,1
Eficiencia (%)	76,1	75,9	75,8	75,8	75,8	75,9	75,9

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

Tabla 59. Emisiones utilizando biodiésel 2% - 1.500 RPM

PARÁMETRO	M 1	M2	M3	M4	M5	M6	PROM
Temperatura gases de salida [°C]	211,4	215,4	217,7	221	223,1	223,3	218,7
Oxígeno [%]	11,64	11,57	11,46	11,40	11,37	11,35	11,5
Dióxido de carbono [%]	5,2	5,23	5,30	5,33	5,35	5,36	5,3
Monóxido de carbono [ppm]	513	517	519	518	520	520	517,8
Dióxido de azufre [ppm]	84	86	89	91	91	92	88,8
Óxidos de nitrógeno [ppm]	460	463	468	478	477	484	471,7
Exceso de Aire (%)	108,7	107,4	105,1	103,9	103,4	103,0	105,3
Eficiencia (%)	78,2	78	78	77,9	77,8	77,8	78

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.3.3. Resultados obtenidos biodiésel 5%.

Tabla 60. Emisiones utilizando biodiésel 5% - 2.000 RPM.

PARÁMETRO	M 1	M2	M3	M4	M5	M6	PROM
Temperatura gases de salida [°C]	137,2	140,5	141,3	141,6	141,9	142,3	140,8
Oxígeno [%]	15,9	15,9	15,92	15,92	15,92	15,92	15,9
Dióxido de carbono [%]	2,82	2,82	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
Monóxido de carbono [ppm]	1421	1441	1474	1486	1490	1482	1465,7
Dióxido de azufre [ppm]	41	42	40	39	36	36	39
Óxidos de nitrógeno [ppm]	169	170	168	167	167	169	168,3
Exceso de Aire (%)	266,9	266,5	268,2	268,2	268,2	268,2	267,7
Eficiencia (%)	77,1	76,7	76,7	76,6	76,6	76,6	76,7

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

Tabla 61. Emisiones utilizando biodiésel 5% - 1.500 RPM.

PARÁMETRO	M 1	M2	M3	M4	M5	M6	PROM
Temperatura gases de salida [°C]	219,1	226,3	229,7	232,6	235,5	240,6	230,6
Oxígeno [%]	10	9,3	9,09	9,03	9,04	9,02	9,2
Dióxido de carbono [%]	6,11	6,50	6,62	6,65	6,65	6,66	6,5
Monóxido de carbono [ppm]	567	605	636	645	651	660	627,3
Dióxido de azufre [ppm]	95	107	114	116	118	120	111,7
Óxidos de nitrógeno [ppm]	583	669	707	709	710	716	682,3
Exceso de Aire (%)	79,8	69,8	66,9	66,2	66,3	66	69,2
Eficiencia (%)	79,7	80	80	79,9	79,8	79,6	79,8

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

Tabla 62. Emisiones utilizando biodiésel 5% - 1.250 RPM.

PARÁMETRO	M 1	M2	M3	M4	M5	M6	PROM
Temperatura gases de salida [°C]	191,3	191,1	189,9	188,2	186,3	183,5	188,4
Oxígeno [%]	11,62	11,61	11,59	11,62	11,63	11,61	11,6
Dióxido de carbono [%]	5,21	5,21	5,22	5,21	5,2	5,21	5,2
Monóxido de carbono [ppm]	568	572	580	578	587	595	580,0
Dióxido de azufre [ppm]	88	87	87	86	86	86	86,7
Óxidos de nitrógeno [ppm]	538	534	537	543	540	538	538,3
Exceso de Aire (%)	108,3	108,2	107,7	108,3	108,4	108,2	108,2
Eficiencia (%)	79,8	79,9	80	80,1	80,2	80,4	80,1

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.3.4. Resultados obtenidos biodiésel 10%.

Tabla 63. Emisiones utilizando biodiésel 10% - 2.000 RPM.

PARÁMETRO	M 1	M2	M3	M4	M5	M6	PROM
Temperatura gases de salida [°C]	130	131,7	132,5	133,2	134,0	134,9	132,7
Oxígeno [%]	15,81	15,81	15,81	15,83	15,85	15,86	15,8
Dióxido de carbono [%]	2,87	2,87	2,87	2,86	2,84	2,84	2,9
Monóxido de carbono [ppm]	1399	1424	1447	1447	1465	1470	1442
Dióxido de azufre [ppm]	39	40	40	40	38	37	39,0
Óxidos de nitrógeno [ppm]	163	162	164	164	167	165	164,2
Exceso de Aire (%)	260,6	260,8	260,5	261,9	263,7	264,3	262
Eficiencia (%)	77,9	77,8	77,7	77,6	77,5	77,3	77,6

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

Tabla 64. Emisiones utilizando biodiésel 10% - 1.500 RPM.

PARÁMETRO	M 1	M2	M3	M4	M5	M6	PROM
Temperatura gases de salida [°C]	213,2	226,3	233,3	238,3	241,1	243,5	232,6
Oxígeno [%]	10,8	10,83	10,06	9,58	9,81	10,01	10,2
Dióxido de carbono [%]	5,66	5,65	6,08	6,35	6,22	6,11	6
Monóxido de carbono [ppm]	525	522	613	692	692	675	619,8
Dióxido de azufre [ppm]	79	86	97	109	110	108	98,2
Óxidos de nitrógeno [ppm]	513	527	586	632	622	607	581,2
Exceso de Aire (%)	92,8	93,3	80,8	73,5	76,9	79,7	82,8
Eficiencia (%)	79,1	78,3	78,7	78,9	78,5	78,2	78,6

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

Tabla 65. Emisiones utilizando biodiésel 10% - 1.000 RPM.

PARÁMETRO	M 1	M2	M3	M4	M5	M6	PROM
Temperatura gases de salida [°C]	304	301,6	314,3	314,2	309,4	305,6	308,2
Oxígeno [%]	7,95	8,55	8,32	8,32	8,2	8,28	8,3
Dióxido de carbono [%]	7,26	6,92	7,05	7,05	7,12	7,07	7,1
Monóxido de carbono [ppm]	1641	1482	1478	1463	1454	1447	1494,2
Dióxido de azufre [ppm]	138	133	134	132	130	129	132,7
Óxidos de nitrógeno [ppm]	368	363	376	376	380	378	373,5
Exceso de Aire (%)	53,5	60,1	57,3	57,3	55,9	56,8	56,8
Eficiencia (%)	77,3	76,8	76,5	76,5	76,9	77	76,8

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.3.5. Resultados obtenidos biodiésel 15%.

Tabla 66. Emisiones utilizando biodiésel 15% - 2.000 RPM

PARÁMETRO	M 1	M2	M3	M4	M5	M6	PROM
Temperatura gases de salida [°C]	133,7	134,9	135	135,8	136,6	137,6	135,6
Oxígeno [%]	15,89	15,9	15,91	15,93	15,96	15,97	15,9
Dióxido de carbono [%]	2,82	2,81	2,81	2,8	2,78	2,78	2,8
Monóxido de carbono [ppm]	1234	1247	1252	1263	1287	1307	1265
Dióxido de azufre [ppm]	39	38	36	35	34	35	36,2
Óxidos de nitrógeno [ppm]	178	178	178	180	177	173	177,3
Exceso de Aire (%)	266,8	267,3	267,5	269,2	271,5	271,9	269
Eficiencia (%)	77,6	77,4	77,4	77,3	77,1	76,9	77,3

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

Tabla 67. Emisiones utilizando biodiésel 15% - 1.500 RPM.

PARÁMETRO	M 1	M2	M3	M4	M5	M6	PROM
Temperatura gases de salida [°C]	182,6	188,9	192	193,3	194,6	196,2	191,3
Oxígeno [%]	12,24	12,23	12,21	12,22	12,23	12,22	12,2
Dióxido de carbono [%]	4,86	4,87	4,88	4,87	4,87	4,87	4,9
Monóxido de carbono [ppm]	537	520	522	513	507	516	519,2
Dióxido de azufre [ppm]	60	64	65	66	66	66	64,5
Óxidos de nitrógeno [ppm]	408	408	407	415	419	407	410,7
Exceso de Aire (%)	122	121,8	121,4	121,6	121,8	121,7	121,7
Eficiencia (%)	79,5	79,1	78,9	78,8	78,7	78,6	78,9

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

Tabla 68. Emisiones utilizando biodiésel 15% - 1.000 RPM.

PARÁMETRO	M 1	M2	M3	M4	M5	M6	PROM
Temperatura gases de salida [°C]	287	296,8	301,8	306,2	307,9	310,9	301,8
Oxígeno [%]	7,42	7,3	7,08	7,04	6,92	6,82	7,1
Dióxido de carbono [%]	7,55	7,62	7,75	7,76	7,83	7,89	7,7
Monóxido de carbono [ppm]	1716	1689	1743	1693	1703	1715	1709,8
Dióxido de azufre [ppm]	134	137	139	140	141	142	138,8
Óxidos de nitrógeno [ppm]	426	431	439	442	446	440	437,3
Exceso de Aire (%)	47,6	46,4	44,2	43,9	42,8	41,8	44,5
Eficiencia (%)	78,7	78,3	78,3	78,1	78,2	78,1	78,3

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.4. Resultados en la opacidad.

4.4.1. Resultados en la opacidad utilizando diesel 100%.

Tabla 69. Resultados opacidad utilizando diesel 100%.

RPM	DESVIACIÓN MAX. (%)	OPACIDAD PROMEDIO (%)
1000	1	69
1250	1	24
1500	1	18
1750	1	7
2000	1	2
Aceleración Libre	15	54

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.4.2. Resultados en la opacidad utilizando biodiésel 2 %.

Tabla 70. Resultados opacidad utilizando Biodiésel 2%.

RPM	DESVIACIÓN MAX. (%)	OPACIDAD PROMEDIO (%)
1000	1	37
1250	4	20
1500	1	5
1750	1	3
2000	1	1
Aceleración libre	21	47

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.4.3. Resultados en la opacidad utilizando biodiésel 5 %.

Tabla 71. Resultados opacidad utilizando biodiésel 5%

RPM	DESVIACIÓN MAX. (%)	OPACIDAD PROMEDIO (%)
1000	11	44
1250	6	18
1500	2	5
1750	1	4
2000	0	2
Aceleración libre	6	33

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.4.4. Resultados en la opacidad utilizando biodiésel 10%.

Tabla 72. Resultados opacidad utilizando Biodiésel 10%

RPM	DESVIACIÓN MAX. (%)	OPACIDAD PROMEDIO (%)
1000	6	59
1250	2	22
1500	2	9
1750	1	7
2000	2	2
Aceleración libre	10	22

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

4.4.5. Resultados en la opacidad utilizando biodiésel 15%.

Tabla 73. Resultados Opacidad utilizando Biodiésel 15%.

RPM	DESVIACIÓN MAX. (%)	OPACIDAD PROMEDIO (%)
1000	3	61
1250	1	17
1500	1	7
1750	2	4
2000	2	3
Aceleración libre	14	17

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

5.1. Análisis de las pruebas físico químicas.

5.1.1. Destilación.

En la tabla a continuación resumimos los resultados obtenidos para el diésel y mezclas de biodiésel en el ensayo de destilación una vez realizado los procedimientos descritos en el cap. 3 y utilizando los métodos ASTM D-86:00 Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure. e INEN NTE 0926:84 Productos de Petróleo: Ensayo de Destilación.

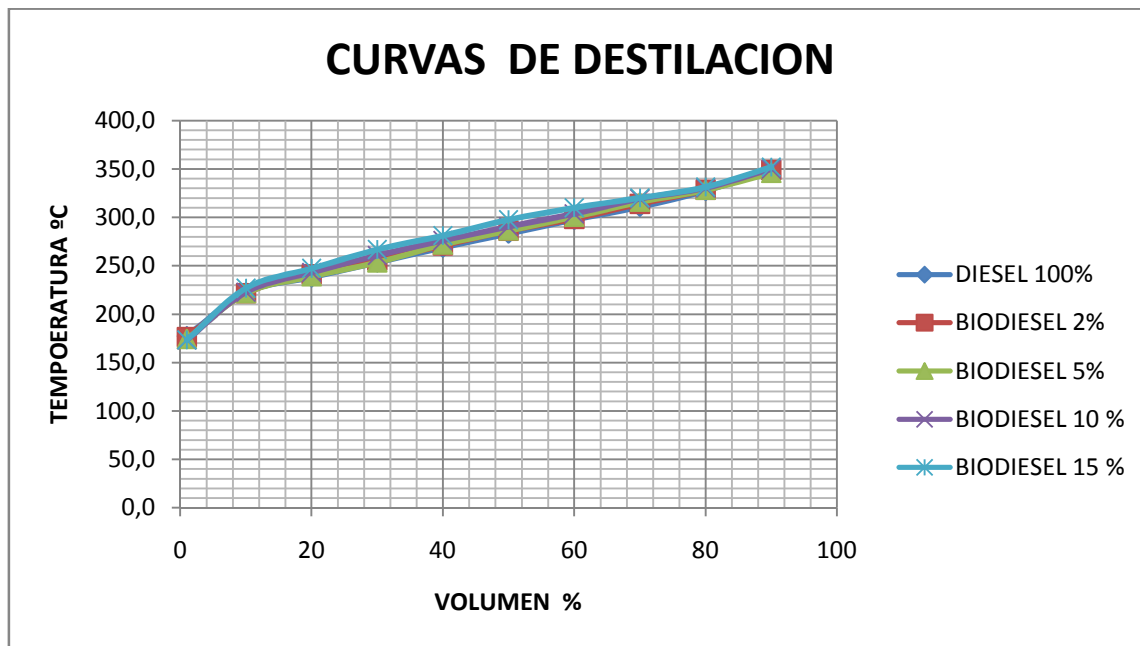
En el cuadro comparativo de resultados indicaremos los valores de temperaturas en °C para el punto inicial de ebullición, recuperado en un 10%,20%,30%,40% 50%, 60, 70%,80%, 90% una vez que estén corregidas.

Tabla 74. Tabla de destilación de todos los combustibles.

DESTILACIÓN [ml]	DIÉSEL 100% T [°C]	BIODIÉSEL 2% T [°C]	BIODIÉSEL 5% T [°C]	BIODIÉSEL 10% T [°C]	BIODIÉSEL 15% T [°C]
PIE	177,5	176,5	174,4	173,4	173,4
10%	222,6	221,6	221,6	222,6	226,7
20%	238,0	241,1	239,1	243,2	247,3
30%	253,4	255,5	253,4	260,6	266,8
40%	268,8	270,9	271,9	276,0	281,1
50%	283,2	286,3	286,3	290,4	297,5
60%	297,5	298,6	300,6	303,7	309,9
70%	310,9	314,0	316,0	319,1	320,1
80%	327,3	328,3	328,3	330,4	331,4
90%	349,9	348,9	345,8	349,9	351,9

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

Figura 32. Curva de destilación de todos los combustibles.



Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Interpretación del gráfico:

Podemos observar que las curvas del gráfico obtenidas mediante los datos de la tabla 74 son todas similares y no difieren en mucho en cada punto, dándonos cuenta que la destilación de cada combustible cumple con las normas ASTM D 86-00, °C ó INEN NTE 0926:84. Siendo de estos valores la temperatura de destilación al 90% la de mayor interés ya que este tiene un límite máximo de 360°C.

Tabla 75. Tabla de destilación a 90 ml de todos los combustibles.

MEZCLAS BIODIÉSEL	DESTILACION 90% [°C]
DIESEL 100%	349,9
BIODIÉSEL 2%	348,9
BIODIÉSEL 5%	345,8
BIODIÉSEL 10%	349,9
BIODIÉSEL 15%	351,9

Elaborado por: Pablo Mancheno y Edgar Jaya

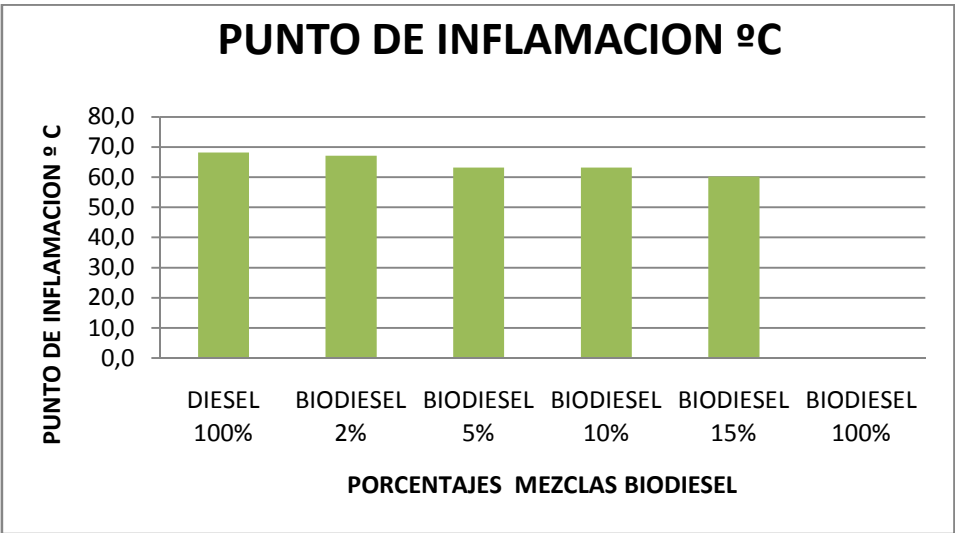
5.1.2. Punto de inflamación.

5.1.2.1. Resultados del laboratorio punto de inflamación.

Tabla 76. Tabla del punto de inflamación de todos los combustibles.

MEZCLAS BIODIÉSEL	PUNTO INFLAMACION CORREG. (PIC) [°C]
DIÉSEL 100%	68,2
BIODIÉSEL 2%	67,2
BIODIÉSEL 5%	63,2
BIODIÉSEL 10%	62,2
BIODIÉSEL 15%	60,2
BIODIÉSEL 100%	-----

Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya



Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Figura 33. Punto de inflamación de todos los combustibles.

Interpretación del gráfico: Podemos apreciar en la gráfica que los valores van desde: 60,2 °C para el biodiésel 15%, 62,2 °C para el biodiésel 10%, 63,2 °C para el Biodiésel 5%, 67,2 °C para el biodiésel 2% y finalmente de 68,2 °C para el diésel al 100%. Esto nos indica que todas las muestras se encuentran dentro del parámetro de las normas ASTM y del INEN que establecen una temperatura mínima de 51 °C,

a excepción del biodiésel al 100% que no se pudo determinar su punto de inflamación.

5.1.3. Densidad API.

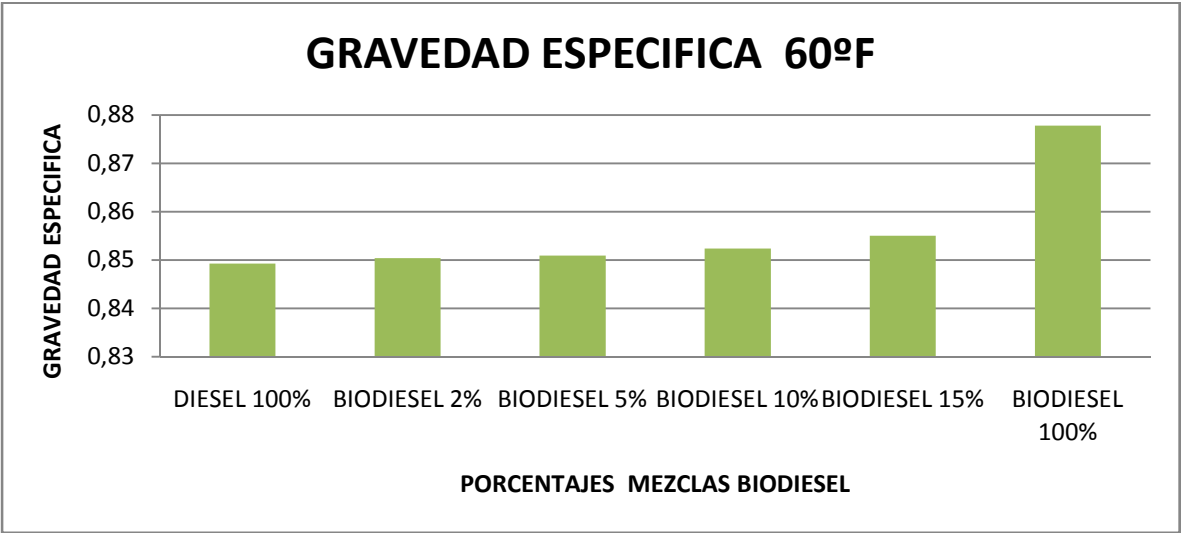
5.1.3.1. Calculo gravedad específica.

Tabla 77. Tabla de la gravedad específica 60°F de todos los combustibles.

MEZCLAS BIODIÉSEL	°API EXPERIMENTAL ° API	T° AMB.	°API GRAVITY 60°F	GRAV. ESPECIFICA 60°F [g/cm ³]
DIÉSEL 100%	35,4	64	35,1	0,8493
BIODIÉSEL 2%	35	61	34,9	0,8504
BIODIÉSEL 5%	35	62	34,8	0,8509
BIODIÉSEL 10%	34,5	60	34,5	0,8524
BIODIÉSEL 15%	34,3	64	34	0,8550
BIODIÉSEL 100%	30	65	29,7	0,8778

Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Figura 34. Gravedad específica 60°F de todos los combustibles.



Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Interpretación del gráfico: Podemos apreciar en la gráfica que los valores van desde: 0,8778 °F para el biodiésel 100%, 0,8550 °F para el biodiésel 15%, 0,8524 °F para el biodiésel 10%, 0,8509 °F para el biodiésel 5%, 0,8505 °F para el biodiésel 2% y finalmente de 0,8493 °F para el diésel al 100%.

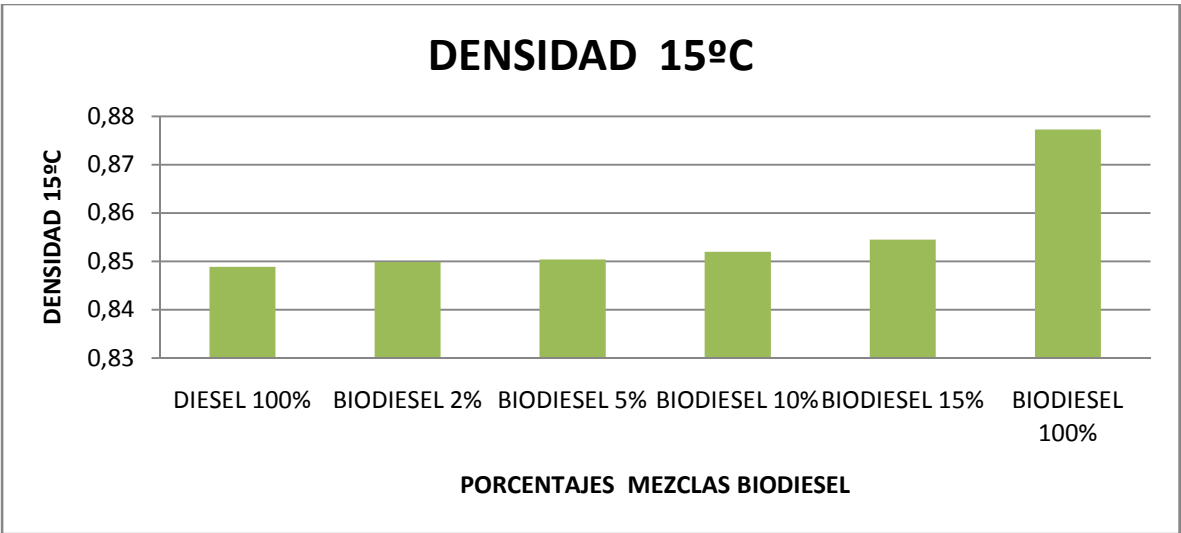
5.1.3.2. Cálculo densidad 15°C.

Tabla 78. Tabla de la Densidad 15°C de todos los combustibles.

MEZCLAS BIODIÉSEL	DENSIDAD 15°C [g/cm ³]
DIÉSEL 100%	0,8489
BIODIÉSEL 2%	0,8499
BIODIÉSEL 5%	0,8504
BIODIÉSEL 10%	0,8520
BIODIÉSEL 15%	0,8545
BIODIÉSEL 100%	0,8773

Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Figura 35. Densidad 15°C de todos los combustibles.



Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

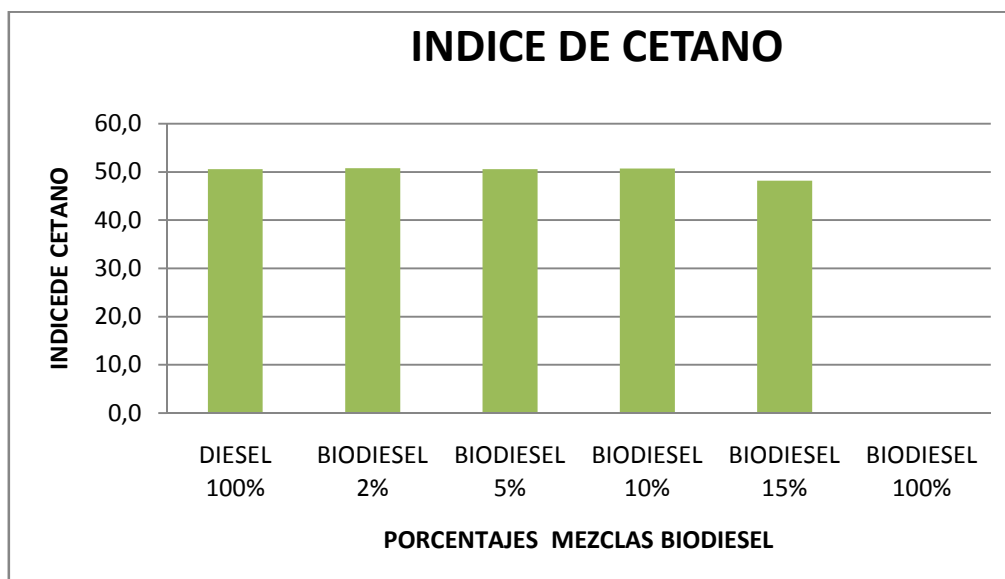
Interpretación del gráfico: Podemos apreciar en la gráfica que los valores van desde: 0,8773 °C para el biodiésel 100%, 0,8545 °C para el biodiésel 15%, 0,8520 °C para el biodiésel 10%, 0,8504 °C para el biodiésel 5%, 0,8499 °C para el biodiésel 2% y finalmente de 0,8489 °C para el diésel al 100%. Esto nos indica que todas las muestras se encuentran dentro del parámetro de las normas ASTM D-1298:99 que establecen un límite de 0,860 a 0,900 [g/cm³].

5.1.4. Análisis de los resultados del laboratorio índice de cetano.

Tabla 79. Tabla del Índice de Cetano de todos los combustibles.

MEZCLAS BIODIÉSEL	GRAVEDAD API 60°F	TEMP DESTILACION 50% [°C]	INDICE CETANO
BIESEL 100%	35,1	541,76	50,6
BIODIÉSEL 2%	34,9	547,34	50,8
BIODIÉSEL 5%	34,8	547,34	50,6
BIODIÉSEL 10%	34,5	554,72	50,7
BIODIÉSEL 15%	34	535,5	48,2
BIODIÉSEL 100%	29,7	-----	----

Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya



Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Figura 36. Índice de cetano.

Interpretación del gráfico: Podemos apreciar en la grafica que los valores van desde: 48,2 para el biodiésel 15%, 50,7 para el biodiésel 10%, 50,6 para el biodiésel 5%, 50,8 para el biodiésel 2% y finalmente de 50,6 para el diésel al 100%, a excepción del biodiésel al 100% que no se pudo determinar su índice de cetano. Esto nos indica que todas las muestras se encuentran dentro del parámetro de las normas ASTM D-976:1995 ó INEN NTE 1495:87 que establecen un límite mínimo de 47.

5.1.5. Corrosión lámina de cobre.

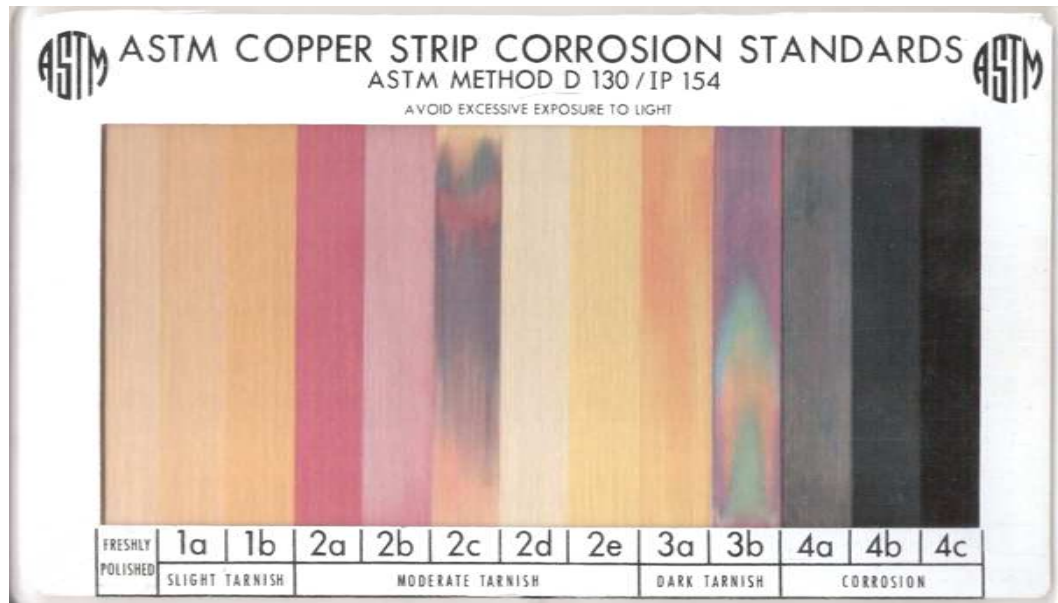
Una vez realizado los procedimientos descritos en el capítulo 3 utilizando los métodos ASTM D-130 ó INEN NTE 0927:84 presentaron los siguientes datos experimentales:



Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Figura 37. Resultados de corrosión del diésel 2

Los resultados obtenidos de las láminas de cobre después que estas han sido expuestas a las muestras de diésel y mezclas de biodiésel respectivamente por tres horas y al comparar con los estándares comparativos de corrosión ASTM y corresponde a 1a lo que significa que la corrosión es ligera, y por lo tanto se encuentra dentro de norma.



Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Figura 38. Corrosión estándar ASTM

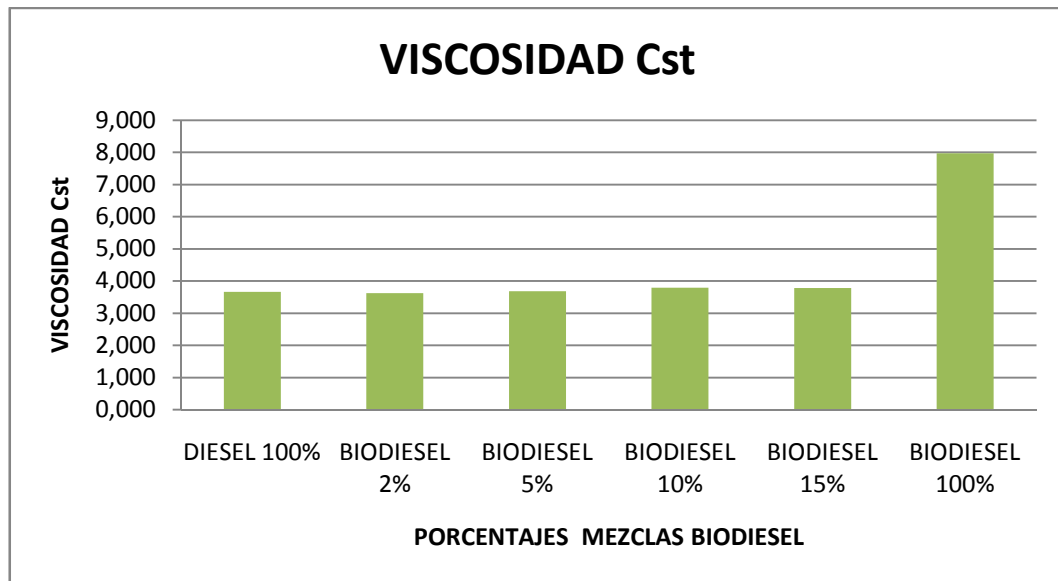
5.1.6. Viscosidad cinemática.

Una vez realizado los procedimientos descritos en el capítulo 3 utilizando los métodos ASTM D-445 ó INEN NTE 0927:84 presentaron los siguientes datos experimentales:

Tabla 80. Tabla de la viscosidad de todos los combustibles.

MEZCLAS BIODIÉSEL	TIEMP. EXP. (seg)	CONS. VISCOC.	VISCOSIDAD (Cst)
DIÉSEL 100%	271	0,01351	3,661
BIODIÉSEL 2%	268	0,01351	3,621
BIODIÉSEL 5%	273	0,01351	3,688
BIODIÉSEL 10%	281	0,01351	3,796
BIODIÉSEL 15%	280	0,01351	3,783
BIODIÉSEL 100%	590	0,01351	7,971

Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya



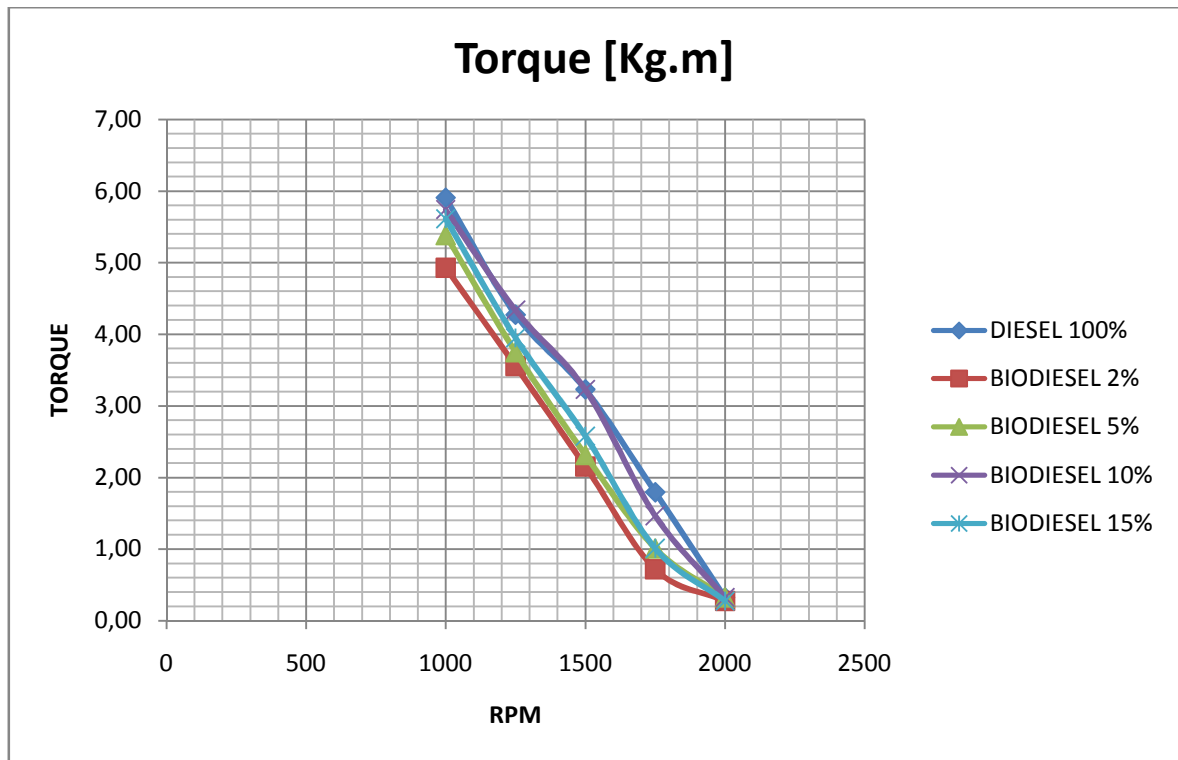
Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Figura 39. Grafica de corrosión del diésel 2

Interpretación del Gráfico: Podemos apreciar en la grafica que los valores van desde: 3,783 para el biodiésel 15%, 3,796 para el biodiésel 10%, 3,688 para el biodiésel 5%, 3,621 para el biodiésel 2% y finalmente de 3,661 para el diésel al 100%, se encuentra dentro de la norma ASTM D-445 ó INEN NTE 0927:84 q establecen un límite de 1,9 a 6,0 Cst, a excepción del biodiésel al 100% que tiene un valor de 7,971 cst.

5.2. Análisis de los resultados de las pruebas en el motor.

5.2.1. Torque.

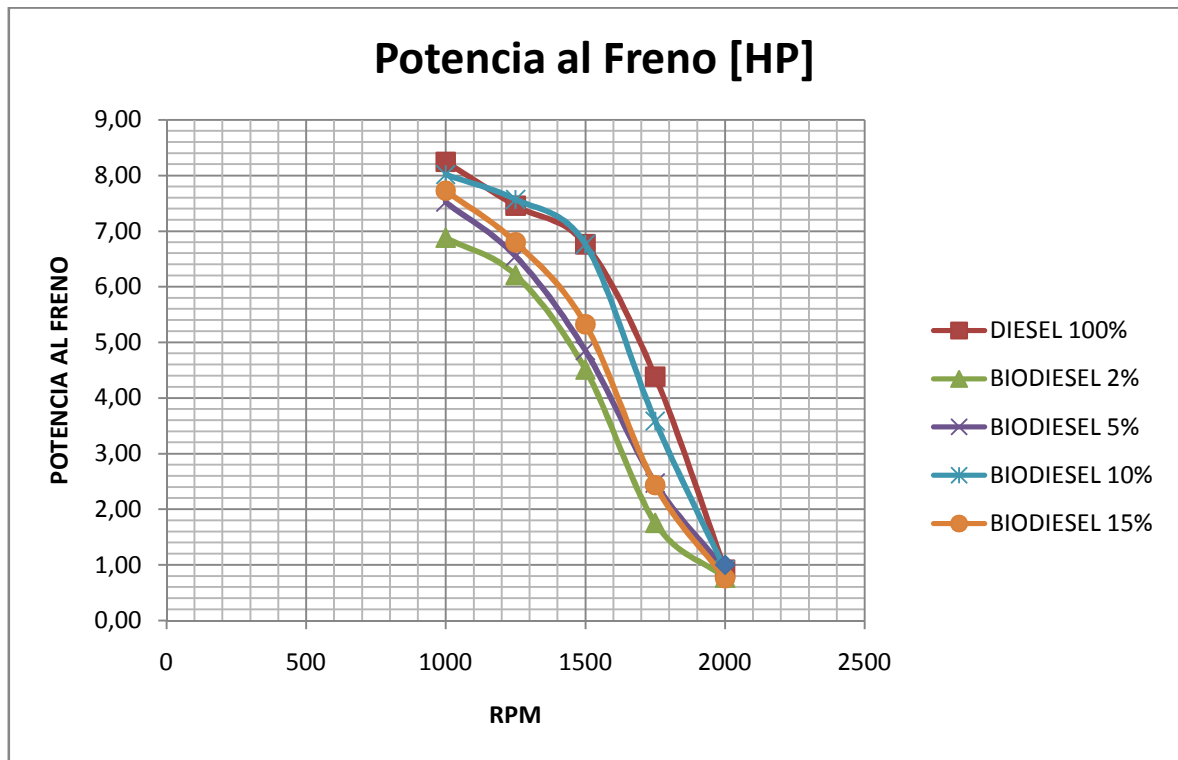


Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Figura 40. Torque con todos los combustibles.

Interpretación del gráfico: La curva de torque que más se aproxima a la curva obtenida de diesel 100% es la de biodiésel al 10%, incluso podemos observar que en el rango de 1250 a 1500 rpm que hay un pequeño incremento en el torque producido.

5.2.2. Potencia al freno.

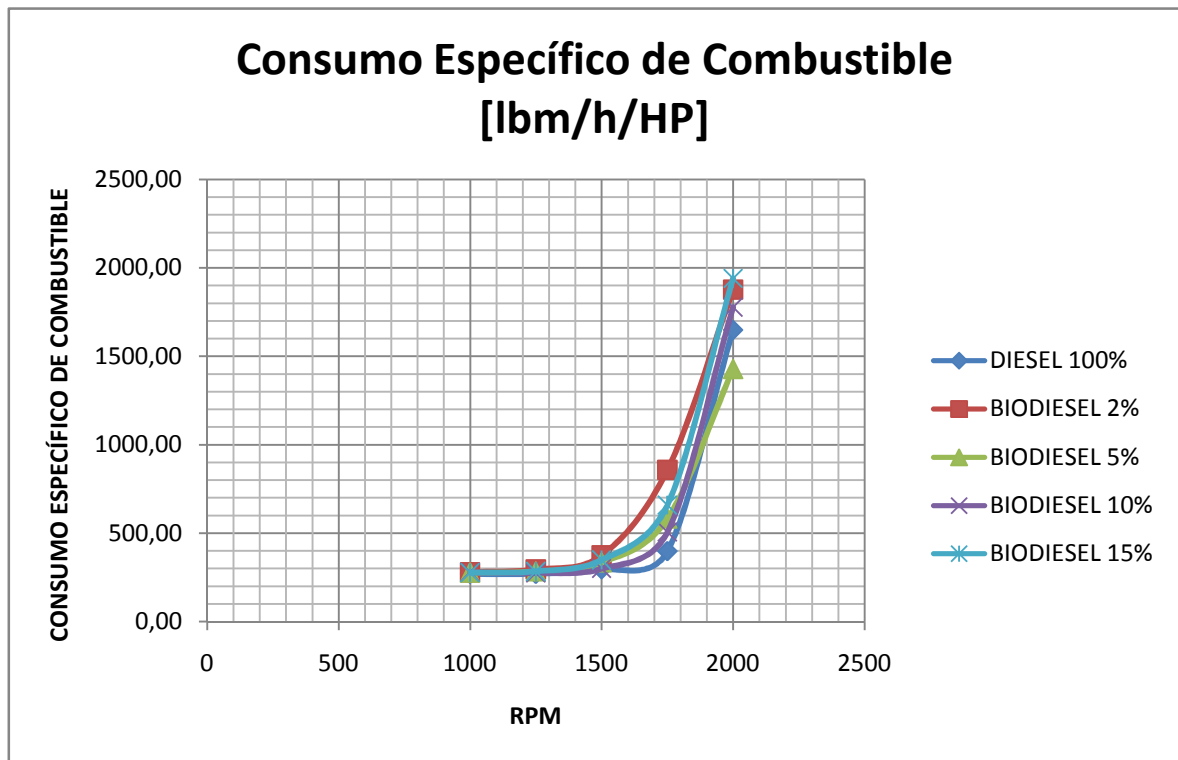


Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Figura 41. Potencia al freno con todos los combustibles.

Interpretación del gráfico: La curva de potencial al freno que más se aproxima a la curva obtenida de diesel 100% es la biodiésel al 10%, incluso podemos observar que en el rango de 1250 a 1500 rpm que hay un pequeño incremento en la potencia al freno producido.

5.2.3. Consumo específico de combustible.

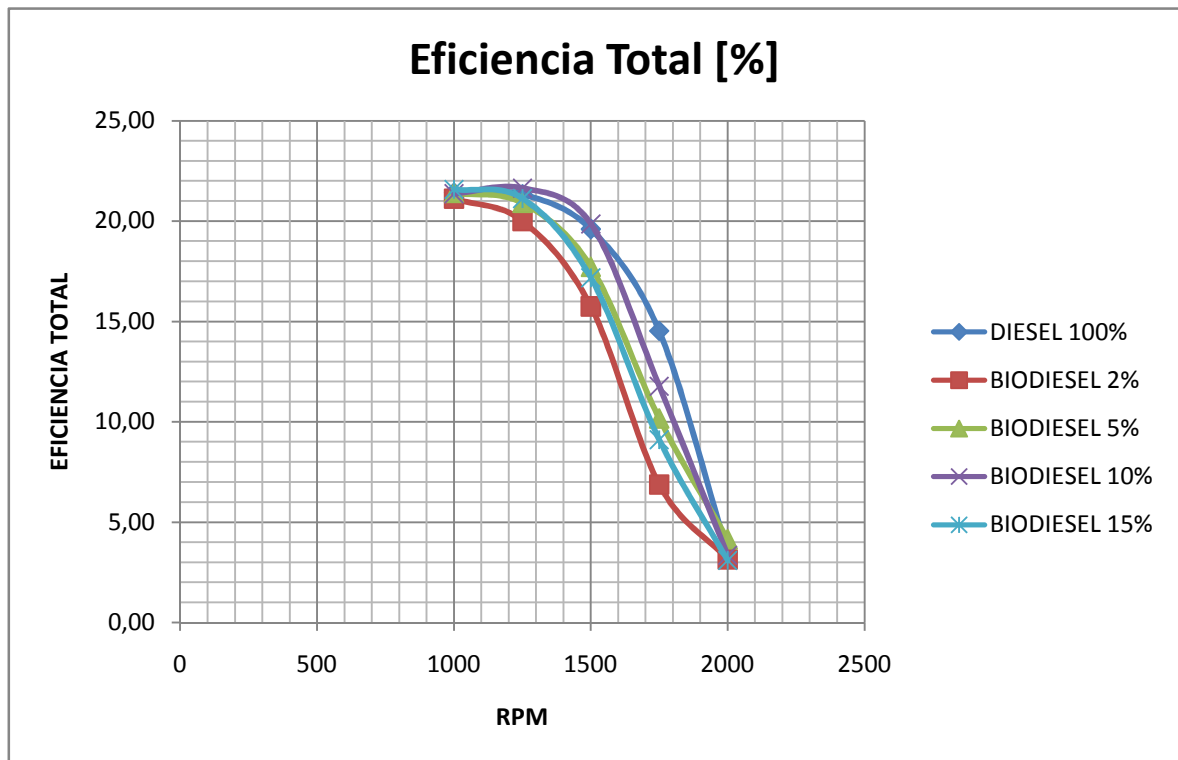


Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Figura 42. Consumo específico con todos los combustibles.

Interpretación del gráfico: La curva de consumo específico que más se aproxima a la curva obtenida de diesel 100% es la biodiésel al 10%, observamos en la grafica que tienen un bajo y similar consumo específico de combustible respecto a las otras mezclas.

5.2.4. Eficiencia total.



Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Figura 43. Eficiencia total con todos los combustibles.

Interpretación del gráfico: La curva de eficiencia total que más se aproxima a la curva obtenida de diesel 100% es la biodiésel al 10%, incluso podemos observar que en el rango de 1250 a 1500 rpm que hay un pequeño incremento en la eficiencia total producida.

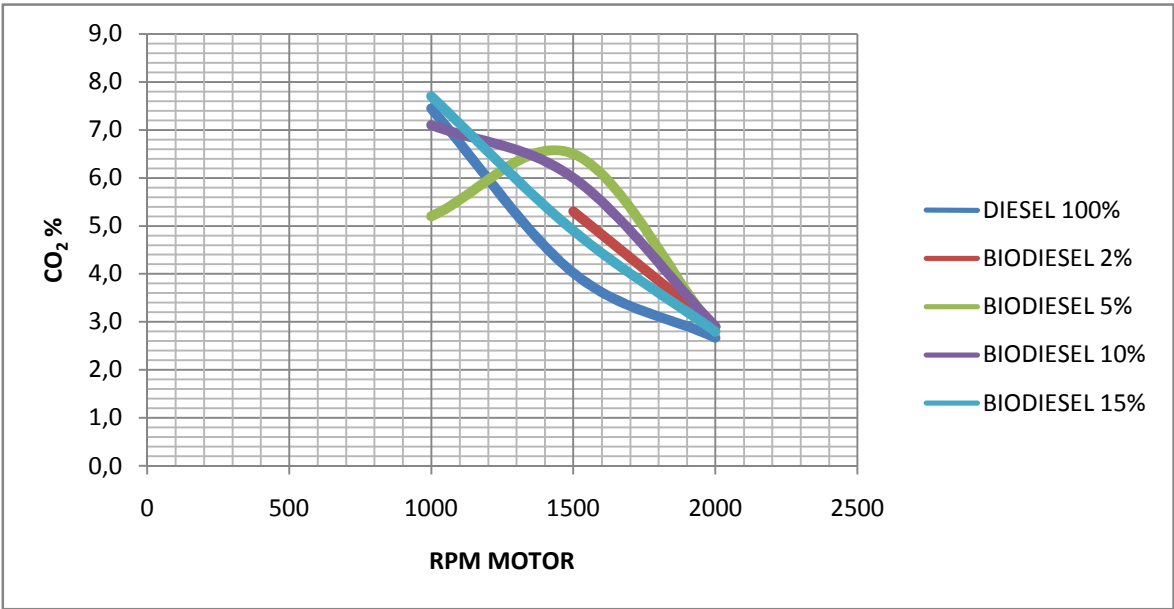
5.3. Análisis de los resultados de las emisiones.

5.3.1. Análisis de emisiones de CO₂.

Tabla 81. Tabla del análisis de emisiones de CO₂.

RPM	DIÉSEL 100%	BIODIÉSEL 2%	BIODIÉSEL 5%	BIODIÉSEL 10%	BIODIÉSEL 15%
2000	2,7	2,9	2,8	2,9	2,8
1500	4,0	5,3	6,5	6	4,9
1000	7,4		5,2	7,1	7,7

Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya



Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Figura 44. Análisis de las emisiones de CO₂.

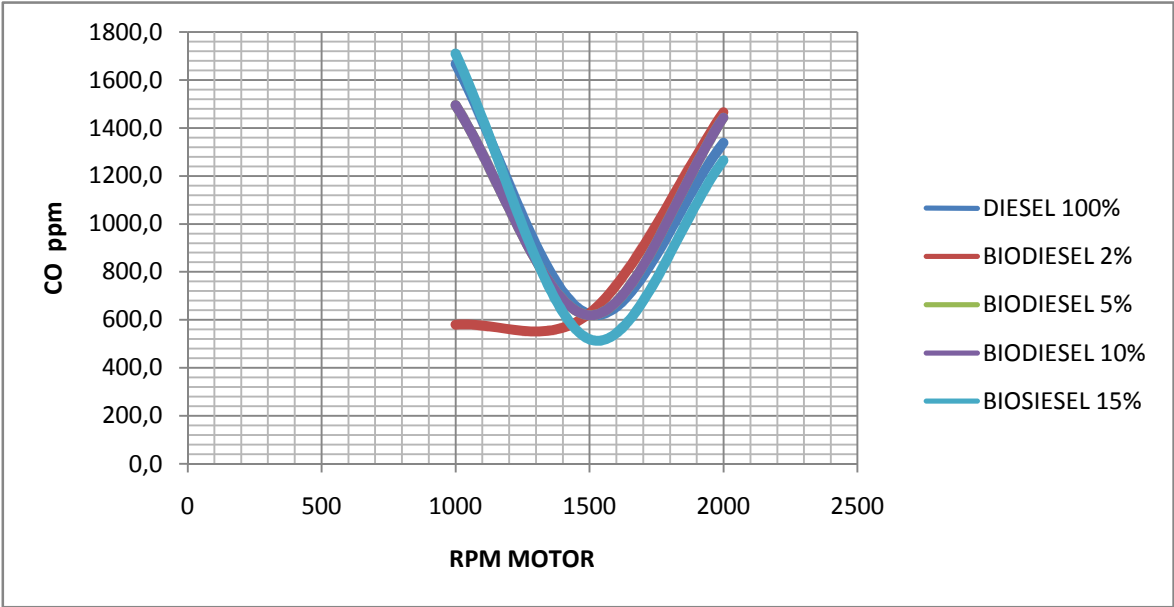
Interpretación del gráfico: Como podemos observar en el gráfico las curvas a diferentes revoluciones no excede su CO₂, teniendo en cuenta que deben estar en cantidades inferiores al 12% del volumen total de los gases pero para motores encendidos por chispa ya que no existe un reglamento de fuentes móviles para motores encendidos por compresión.

5.3.2. Análisis de emisiones de CO.

Tabla 82. Tabla del análisis de emisiones de CO.

RPM	DIÉSEL 100%	BIODIÉSEL 2%	BIODIÉSEL 5%	BIODIÉSEL 10%	BIODIÉSEL 15%
2000	1337,7	1387,2	1465,7	1442	1265
1500	623,3	517,8	627,3	619,8	519,2
1000	1665,2		580	1494,2	1709,8

Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya



Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Figura 45. Análisis de las emisiones de CO.

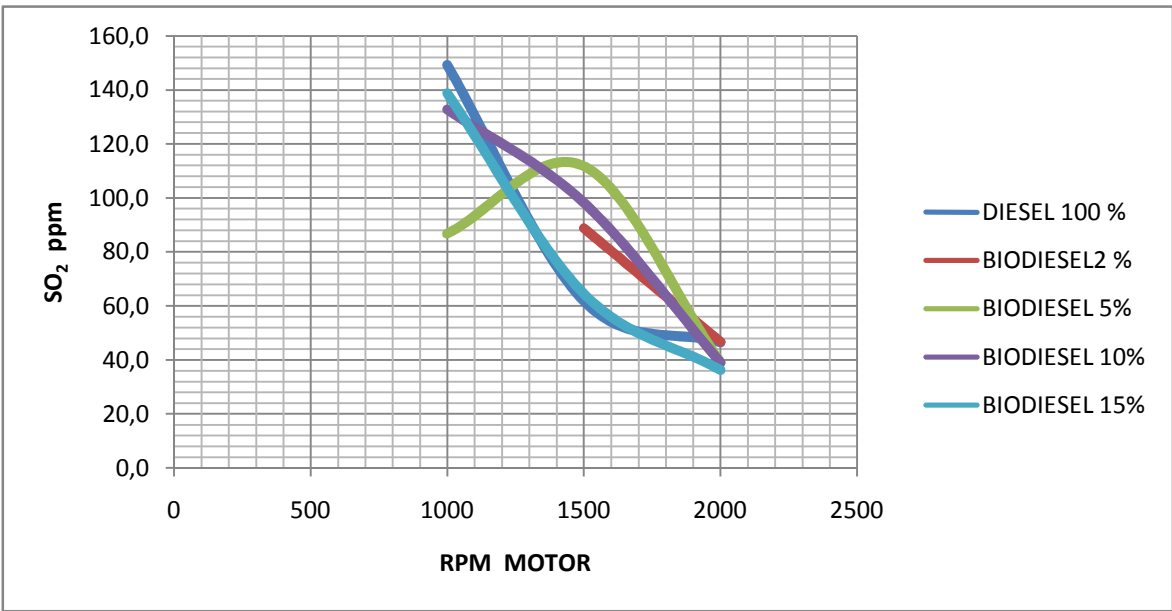
Interpretación del gráfico: Como podemos observar en el grafico las curvas a diferentes revoluciones, el de mayor valor de CO es el biodiésel 15% con 1709,8 ppm a 1000 rpm, mientras que los demás combustibles reducen valores importantes siendo el de menor valor el biodiésel 5% con 517,8 ppm a 1500 rpm.

5.3.3. Análisis de emisiones de SO₂.

Tabla 83. Tabla del análisis de emisiones de SO₂.

RPM	DIÉSEL 100%	BIODIÉSEL 2%	BIODIÉSEL 5%	BIODIÉSEL 10%	BIODIÉSEL 15%
2000	46,5	46,7	39	39	36,2
1500	61,8	88,8	111,7	98,2	64,5
1000	149,2		86,7	132,7	138,8

Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya



Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Figura 46. Análisis de las Emisiones de SO₂.

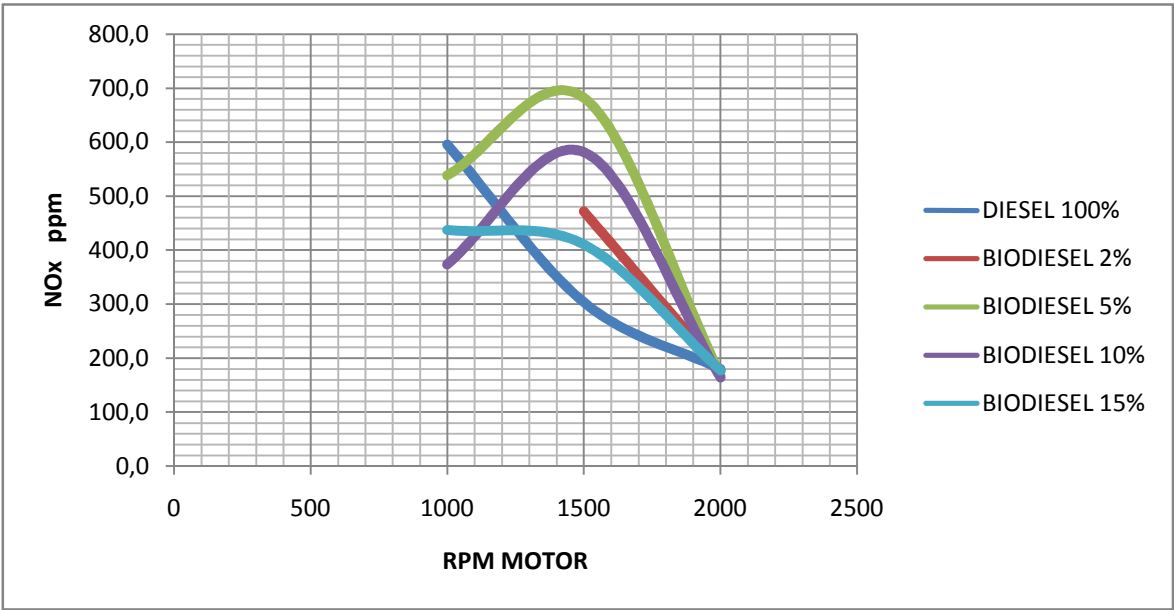
Interpretación del gráfico: Como podemos observar en el grafico las curvas a diferentes revoluciones, el de mayor valor de SO₂ es el diésel 100% con 149,2 ppm a 1000 rpm, mientras que los demás combustibles reducen valores importantes siendo el de menor valor el biodiésel 5% y 10% con 39 ppm a 2000 rpm.

5.3.4 Análisis de emisiones de NO_x.

Tabla 84. Tabla del análisis de emisiones de NO_x.

RPM	DIÉSEL 100%	BIODIÉSEL 2%	BIODIÉSEL 5%	BIODIÉSEL 10%	BIODIÉSEL 15%
2000	179,7	176,3	168,3	164,2	177,3
1500	303,7	471,7	682,3	581,2	410,7
1000	595,7		538,3	373,5	437,3

Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya



Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Figura 47. Análisis de las emisiones de NO_x.

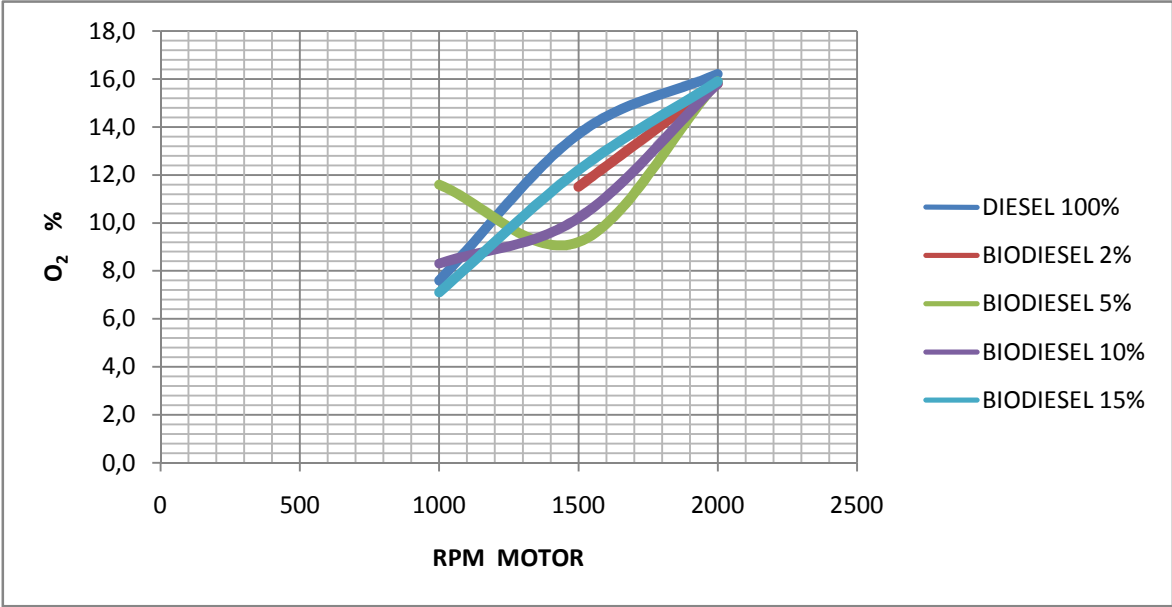
Interpretación del gráfico: Como podemos observar en el grafico las curvas a diferentes revoluciones, el de mayor valor de NO_x es el biodiésel 100% con 682,3 ppm a 1500 rpm, mientras que los demás combustibles reducen valores importantes siendo el de menor valor el biodiésel 10% con 164,2 ppm a 2000 rpm.

5.3.5. Análisis de emisiones de O₂.

Tabla 85. Tabla del análisis de emisiones de O₂.

RPM	DIÉSEL 100%	BIODIÉSEL 2%	BIODIÉSEL 5%	BIODIÉSEL 10%	BIODIÉSEL 15%
2000	16,2	15,8	15,9	15,8	15,9
1500	13,7	11,5	9,2	10,2	12,2
1000	7,6		11,6	8,3	7,1

Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya



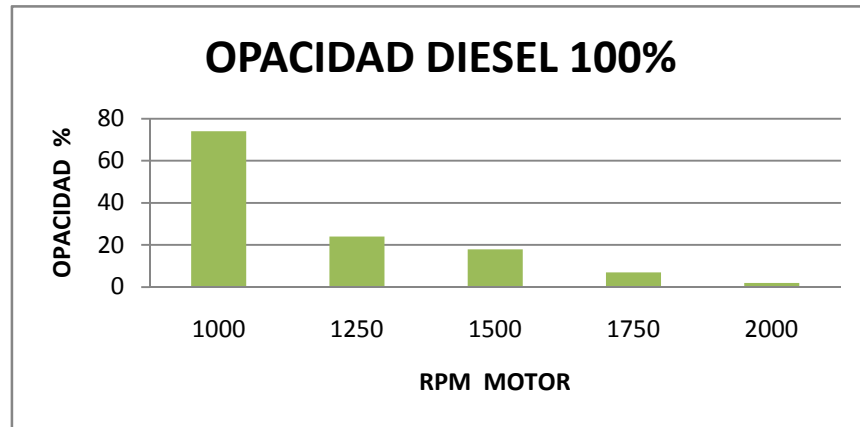
Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Figura 48. Análisis de las emisiones de O₂.

Interpretación del gráfico: Como podemos observar en el grafico las curvas a diferentes revoluciones, el de mayor valor de O₂ es el diésel 100% con 284,9% del volumen total a 2000 rpm, mientras que los demás combustibles reducen valores importantes siendo el de menor valor el biodiésel 15% con 7,1 % del volumen total a 1000 rpm.

5.4. Análisis de la opacidad.

5.4.1. Análisis de la opacidad utilizando diesel 100%.

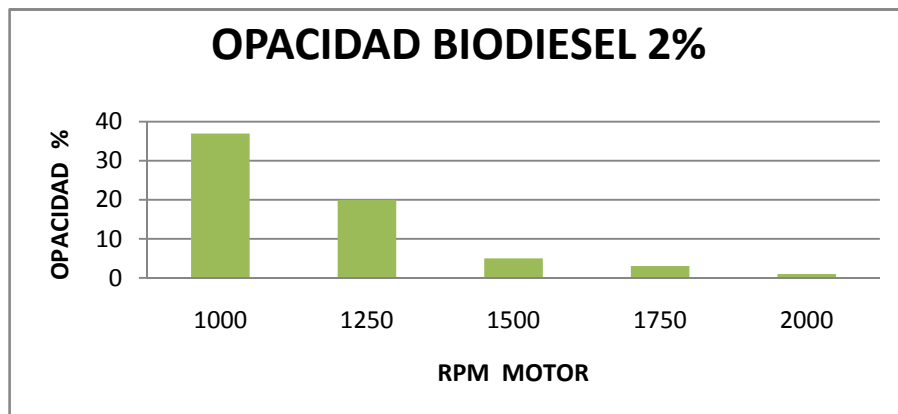


Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Figura 52. Variación de opacidad utilizando diesel 100%.

Interpretación del gráfico: Como podemos observar en el grafico las barras de opacidad a diferentes revoluciones, el de mayor valor de opacidad es el diésel 100% con 69% del volumen total a 1000 rpm, mientras que los demás combustibles reducen valores importantes siendo el de menor valor el diésel 15% con 2% del volumen total a 2000 rpm, cuyo límite de emisión no podrá superar el 70%.

5.4.2. Análisis de la opacidad utilizando biodiésel 2 %.



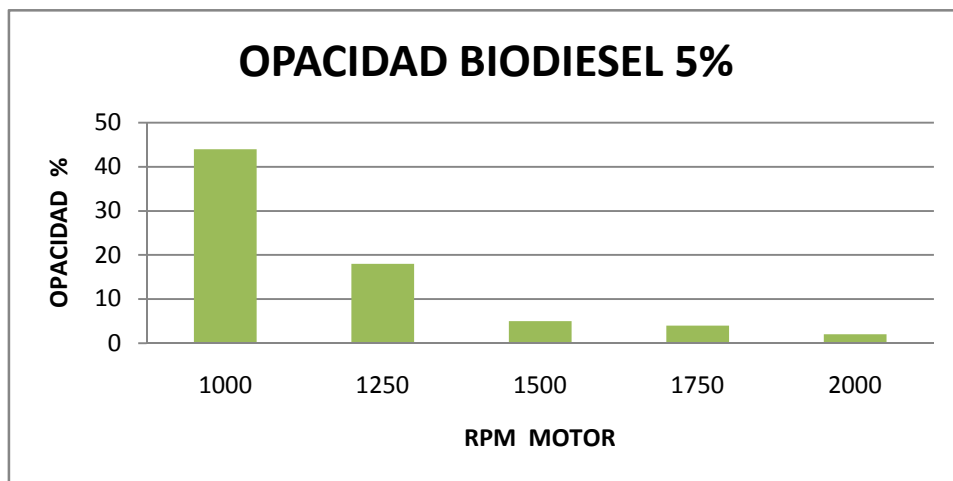
Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Figura 53. Variación de opacidad utilizando biodiésel 2%

Interpretación del gráfico: Como podemos observar en el grafico las barras de opacidad a diferentes revoluciones, el de mayor valor de opacidad es el diésel 10% con 37% del volumen total a 1000 rpm, mientras que los demás combustibles reducen valores importantes siendo el de menor valor el diésel 15% con 1% del volumen total a 2000 rpm, cuyo límite de emisión no podrá superar el 70%.

5.4.3. Resultados en la opacidad utilizando biodiésel 5 %.

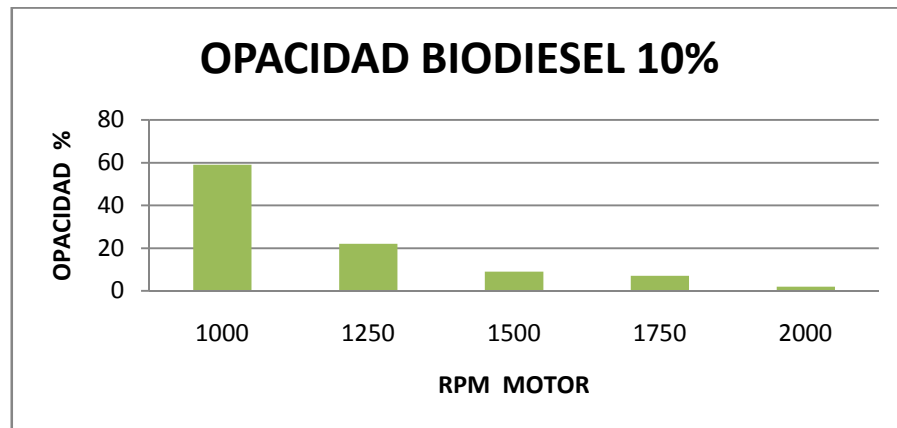
Figura 54. Variación de opacidad utilizando biodiésel 5%.



Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Interpretación del gráfico: Como podemos observar en el grafico las barras de opacidad a diferentes revoluciones, el de mayor valor de opacidad es el diésel 10% con 44% del volumen total a 1000 rpm, mientras que los demás combustibles reducen valores importantes siendo el de menor valor el diésel 15% con 2% del volumen total a 2000 rpm, cuyo límite de emisión no podrá superar el 70%.

5.4.4. Resultados en la opacidad utilizando biodiésel 10%.

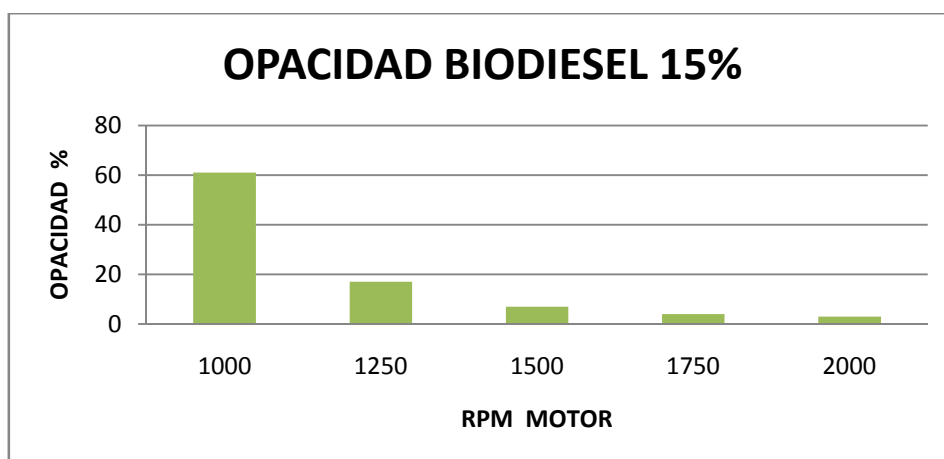


Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Figura 55. Variación de opacidad utilizando biodiésel 10%.

Interpretación del gráfico: Como podemos observar en el grafico las barras de opacidad a diferentes revoluciones, el de mayor valor de opacidad es el diésel 10% con 59% del volumen total a 1000 rpm, mientras que los demás combustibles reducen valores importantes siendo el de menor valor el diésel 15% con 2% del volumen total a 2000 rpm, cuyo límite de emisión no podrá superar el 70%.

5.4.5. Resultados en la opacidad utilizando biodiésel 15%



Elaborado por: Pablo Mancheno – Edgar Jaya

Figura 56. Variación de opacidad utilizando biodiésel 15%.

Interpretación del gráfico: Como podemos observar en el grafico las barras de opacidad a diferentes revoluciones, el de mayor valor de opacidad es el diésel 10% con 61% del volumen total a 1000 rpm, mientras que los demás combustibles reducen valores importantes siendo el de menor valor el diésel 15% con 3% del volumen total a 2000 rpm, cuyo límite de emisión no podrá superar el 70%.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1. Conclusiones.

- Se recopiló documentos en los que se detallan en forma concisa tanto la parte teórica como las técnicas y procedimientos necesarios para efectuar los análisis de las mezclas de biodiesel y diesel de petróleo.
- De igual forma se realizó una investigación bibliográfica y de la documentación técnica con la que se pudo evaluar el funcionamiento y comportamiento de un motor encendido por compresión, así como de los gases que se producen en la combustión interna del motor.
- Se realizaron pruebas tanto físicas como químicas de las mezclas al 2%, 5%, 10%, 15% de Biodiesel con diesel de petróleo así como al diesel de petróleo al 100%.
- De estos análisis se pudo establecer que las mezclas cumplen con los requerimientos establecidos por el control de la calidad de los combustibles en las normas técnicas del INEN de Ecuador y de las normas ASTM a nivel internacional.
- Los parámetros y requerimientos establecidos a nivel internacional para determinar la calidad de biodiesel y mezclas de biodiesel con diesel de petróleo tomadas de WEARCHEK IBERICA nos confirman que todas las mezclas cumplen con los requisitos para ser usado como combustible.
- En relación a los análisis efectuados al biodiesel puro, se debe acotar que este no cumple con los parámetros establecidos en las normas INEN, ASTM y de la

WEARCHEK IBERICA, por lo que se concluye que el biodiesel puro no es apto para el funcionamiento de un motor de encendido por compresión.

- Luego del análisis efectuado a las curvas de torque, potencia la freno, consumo específico de combustible, eficiencia total, se pudo establecer que en la curva de torque, potencia al freno y eficiencia total la mezcla al 10% es la que presenta las mejores características para el funcionamiento del motor, incluso sobrepasando a la del diesel puro en el rango de 1250 a 1500 rpm, mientras que con el consumo específico de combustible la mezcla al 10% es la que presenta las mejores características para el funcionamiento del motor, incluso tiene el más bajo y similar consumo específico de combustible respecto al del diésel de petróleo al 100%.
- En los análisis efectuados a los gases productos de la combustión de las distintas mezclas en el funcionamiento del motor se pudo establecer que: En las emisiones de CO₂, CO, SO₂, NO_x, O₂, se pudo detectar que cuando el motor trabaja a mayor revolución sin carga del freno estas son mínimas, pero a menor revolución con carga las emisiones son aceptables esto dentro de los rangos establecidos en los niveles máximos permisibles para la emisión vehicular para vehículos con motor a gasolina al no existir rangos establecidos para emisiones de gases para motores con motor a diesel.
- En la opacidad se pudo detectar que el motor al trabajar a mayor revoluciones sin carga como a menor revoluciones con carga el porcentaje de opacidad se encuentra dentro de los rangos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INE 2 202:2000.

6.2. Recomendaciones.

- Se recomienda que el biodiésel tenga un contenido del 0% de agua ya que esto afecta en la obtención de los resultados para las diferentes pruebas realizadas a todas las mezclas de combustible.
- Se recomienda trabajar con las debidas protecciones de seguridad y equipo de trabajo.
- Es recomendable que para futuras investigaciones se realicen pruebas de producción de biodiesel a partir de otros productos, no solamente del aceite de palma africana.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Albarracin A. Pedro: Tribología Lubricación Industrial y Automotriz, Editorial la Mota, Colombia 2000.
2. Alonso José Manuel: Sistemas de Inyección de Combustible en los Motores Diesel, 1ª Edición, Madrid – España, 2001 pp. 169-177.
3. Barriga R. Alfredo; Producción y uso del Biodiesel en el Ecuador; ESPOL
4. CCICEV: Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares; EPN; Quito.
5. Chica Fernando; Estudio y aplicación del Biodiesel; <http://www.energias-renovables.com>.
6. Ciria Ignacio J.; Propiedades y características de combustibles diésel y biodiésel; <http://www.wearcheckiberica.es/prpiedades.com>.
7. Corradini F. Eugenio; Biodiesel el pasado del futuro; SAGAPyA.
8. Díaz F. Rodrigo: Motores de Combustión Interna, Editorial Freire, Ecuador 1987.
9. Jachiyan A. S: Motores de Combustión Interna, Editorial MIR, Rusia 1988.
10. Movnin, M.S: Fundamentos de Mecánica Técnica, Editorial MIR, Rusia 1985.
11. Niveles máximos permisibles para la emisión vehicular:
<http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/b92aaea87dac762406257265005d21f7/7b256f2698bc99ca062570a10057aa03?OpenDocument>.

- 12.OLADE: Organización Latinoamericana de Energía; Estado de los biocombustibles en América Latina y el Caribe.
- 13.Oil World FEDEPALMA ANCUPA-ECUADOR; Biodiesel una perspectiva empresarial.
- 14.Parreño Miguel; Producción de biodiésel; EPN
- 15.UNIMEG: Unidad de Monitoreo de Emisiones Gaseosas; EPN; Quito.
- 16.Vehículos que utilizan combustible diesel para su funcionamiento;
<http://www.mti.gob.ni/ambiental4.html>.
- 17.Villalta Juan: Motor Diesel Características Pruebas, Vibraciones, Ediciones CEAC, S.A., 3ª Edición, España, Mayo 1986.
- 18.Villalta Juan: Motor Diesel Inyección y Combustión, Ediciones CEAC S.A., 3ª Edición, España Mayo 1986.
- 19.Wasdyke Raymond & Snyder Gerarld: Motores Diesel Operación Prueba y Evaluación, Editorial Limusa S.A., México 1988.

ANEXOS.

ANEXO I. Correcciones de densidad API a 60 °F

TEMP.	55,0	55,5	56,0	56,5	57,0	57,5	58,0	58,5	59,0	59,6	60	TEMP.
F											F	
45,0	56,8	57,3	57,8	58,4	58,9	59,4	59,9	60,4	60,9	61,4	62,0	45,0
45,5	56,8	57,3	57,8	58,3	58,8	59,3	59,8	60,3	60,9	61,4	61,9	45,5
46,0	56,7	57,2	57,7	58,2	58,7	59,3	59,8	60,3	60,8	61,3	61,8	46,0
46,5	56,6	57,1	57,7	58,2	58,7	59,2	59,7	60,2	60,7	61,2	61,8	46,5
47,0	56,6	57,1	57,6	58,1	58,6	58,1	59,6	60,2	60,7	61,2	61,7	47,0
47,5	56,5	57,0	57,5	58,0	58,6	59,1	59,6	60,1	60,6	61,1	61,6	47,5
48,0	56,5	57,0	57,5	58,0	58,5	59,0	59,5	60,0	60,5	61,0	61,6	48,0
48,5	56,4	56,9	57,4	57,9	58,4	58,9	59,5	60,0	60,5	61,0	61,5	48,5
49,0	56,3	56,8	57,4	57,9	58,4	58,9	59,4	59,9	60,4	60,0	61,4	49,0
49,5	56,3	56,8	57,3	57,8	58,3	58,8	59,3	59,8	60,3	60,9	61,4	49,5
50,0	56,2	56,7	57,2	57,7	58,2	58,8	59,3	59,8	60,3	60,8	61,3	50,0
50,5	56,1	56,7	57,2	57,7	58,2	58,7	59,2	59,7	60,2	60,7	61,2	50,5
51,0	56,1	56,6	57,1	57,6	58,1	58,6	59,1	59,6	60,1	60,7	61,2	51,0
51,5	56,0	56,5	57,0	57,5	58,1	58,6	59,1	59,6	60,1	60,6	61,1	51,5
52,0	56,0	56,5	57,0	57,5	58,0	58,5	59,0	59,5	60,0	60,5	61,0	52,0
52,5	55,9	56,4	56,9	57,4	57,9	58,4	58,9	59,4	60,0	60,5	61,0	52,5
53,0	55,8	56,3	56,9	57,4	57,9	58,4	58,9	59,4	59,9	60,4	60,9	53,0
53,5	55,8	56,3	56,8	57,3	57,8	58,3	58,8	59,3	58,8	60,3	60,8	53,5
54,0	55,7	56,2	56,7	57,2	57,7	58,2	58,8	59,3	59,8	60,3	60,8	54,0
54,5	55,7	56,7	56,7	57,2	57,7	58,2	58,7	59,2	60,7	60,2	60,7	54,5
55,0	55,6	56,1	56,6	57,1	57,6	58,1	58,6	59,1	59,6	60,1	60,6	55,0
55,5	55,5	56,0	56,6	57,1	57,6	58,1	58,6	59,1	59,6	60,1	60,6	55,5
56,0	55,5	56,0	56,5	57	57,5	58,0	58,5	59,0	59,5	60,0	60,5	56,0
56,5	55,4	55,9	56,4	56,9	57,4	57,9	58,4	58,9	59,4	59,9	60,5	56,6
57,0	55,4	55,9	56,4	56,9	57,4	57,9	58,4	58,9	59,4	59,9	60,4	57,0
57,5	55,3	55,8	56,3	56,8	57,3	57,8	58,3	58,8	59,3	59,8	60,3	57,5
58,0	55,2	55,7	56,2	56,7	57,2	57,7	58,3	58,8	59,3	59,8	60,3	58,0
58,5	55,2	55,7	56,2	56,7	57,2	57,7	58,2	58,7	59,2	59,7	60,2	58,5
59,0	55,1	55,6	56,1	56,6	57,1	57,6	58,1	58,8	59,1	59,6	60,1	59,0
59,5	55,1	55,6	56,1	56,6	57,1	57,6	58,1	58,6	59,1	59,6	60,1	59,5
60,0	55,0	55,5	56,0	58,5	57,0	57,5	58,0	58,5	59,0	59,5	60,0	60,0

CORRESPONDING API GRAVITY AT 60 F												
60.0	30.0	30.5	31.0	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5	34.0	34.5	35.0	60.0
60.5	30.0	30.5	31.0	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5	34.0	34.5	35.0	60.5
61.0	29.9	30.4	30.9	31.4	31.9	32.4	32.9	33.4	33.9	34.4	34.9	61.0
61.5	29.9	30.4	30.9	31.4	31.9	32.4	32.9	33.4	33.9	34.4	34.9	61.5
62.0	29.9	30.4	30.9	31.4	31.9	32.4	32.9	33.4	33.9	34.4	34.8	62.0
62.5	29.8	30.3	30.8	31.3	31.8	32.3	32.8	33.3	33.8	34.3	34.8	62.5
63.0	29.8	30.3	30.8	31.3	31.8	32.3	32.8	33.3	33.8	34.3	34.8	63.0
63.5	29.8	30.3	30.8	31.3	31.7	32.2	32.7	33.2	33.7	34.2	34.7	63.5
64.0	29.7	30.2	30.7	31.2	31.7	32.2	32.7	33.2	33.7	34.2	34.7	64.0
64.5	29.7	30.2	30.7	31.2	31.7	32.2	32.7	33.2	33.7	34.2	34.7	64.5
65.0	29.7	30.2	30.6	31.1	31.6	32.1	32.6	33.1	33.6	34.1	34.6	65.0
65.5	29.6	30.1	30.6	31.1	31.6	32.1	32.6	33.1	33.6	34.1	34.6	65.5
66.0	29.6	30.1	30.6	31.1	31.6	32.1	32.6	33.1	33.6	34.1	34.6	66.0
66.5	29.5	30.0	30.5	31.0	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5	34.0	34.5	66.5
67.0	29.5	30.0	30.5	31.0	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5	34.0	34.5	67.0
67.5	29.5	30.0	30.5	31.0	31.5	32.0	32.5	33.0	33.4	33.9	34.4	67.5
68.0	29.4	29.9	30.4	30.9	31.4	31.9	32.4	32.9	33.4	33.9	34.4	68.0
68.5	29.4	29.9	30.4	30.9	31.4	31.9	32.4	32.9	33.4	33.9	34.4	68.5
69.0	29.4	29.9	30.4	30.9	31.4	31.9	32.3	32.8	33.3	33.8	34.3	69.0
69.5	29.3	29.8	30.3	30.8	31.3	31.8	32.3	32.8	33.3	33.8	34.3	69.5
70.0	29.3	29.8	30.3	30.8	31.3	31.8	32.3	32.8	33.3	33.8	34.3	70.0
70.5	29.3	28.8	30.3	30.8	31.3	31.7	32.2	32.7	33.2	33.7	34.2	70.5
71.0	29.2	29.7	30.2	30.7	31.2	31.7	32.2	32.7	33.2	33.7	34.2	71.0
71.5	29.2	29.7	30.2	30.7	31.2	31.7	32.2	32.7	33.2	33.7	34.1	71.5
72.0	29.2	29.7	30.2	30.6	31.1	31.6	32.1	32.6	33.1	33.6	34.1	72.0
72.5	29.1	29.6	30.1	30.6	31.1	31.6	32.1	32.6	33.1	33.6	34.1	72.5
73.0	29.1	29.6	30.1	30.6	31.1	31.6	32.1	32.6	33.0	33.5	34.0	73.0
73.5	29.1	29.6	30.1	30.5	31.0	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5	34.0	73.5
74.0	29.0	29.5	30.0	30.5	31.0	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5	34.0	74.0
74.5	29.0	29.5	30.0	30.5	31.0	31.5	32.0	32.4	32.9	33.4	33.9	74.5
75.0	29.0	29.5	29.9	30.4	30.9	31.4	31.9	32.4	32.9	33.4	33.9	75.0
DENOTES EXTRAPOLATED VELUE								API GRAVITY = 30.0 TO 35.0				

ANEXO II. Gravedad Específica

Grados API a 60°F	Gravedad Específica	Grados API a 60°F	Gravedad Específica	Grados API a 60°F	Gravedad Específica	Grados API a 60°F	Gravedad Específica	Grados API a 60°F	Gravedad Específica	Grados API a 60°F	Gravedad Específica	Grados API a 60°F	Gravedad Específica
30,0	0,8762	35,0	0,8498	40,0	0,8251	45,0	0,8017	50,0	0,7796	55,0	0,7587	60,0	0,7389
30,1	0,8756	35,1	0,8493	40,1	0,8246	45,1	0,8012	50,1	0,7792	55,1	0,7583	60,1	0,7385
30,2	0,8751	35,2	0,8488	40,2	0,8241	45,2	0,8008	50,2	0,7788	55,2	0,7579	60,2	0,7381
30,3	0,8745	35,3	0,8483	40,3	0,8236	45,3	0,8003	50,3	0,7783	55,3	0,7575	60,3	0,7377
30,4	0,8740	35,4	0,8478	40,4	0,8232	45,4	0,7999	50,4	0,7779	55,4	0,7571	60,4	0,7374
30,5	0,8735	35,5	0,8473	40,5	0,8227	45,5	0,7994	50,5	0,7775	55,5	0,7567	60,5	0,7370
30,6	0,8729	35,6	0,8468	40,6	0,8222	45,6	0,7990	50,6	0,7770	55,6	0,7563	60,6	0,7366
30,7	0,8724	35,7	0,8463	40,7	0,8217	45,7	0,7985	50,7	0,7766	55,7	0,7559	60,7	0,7362
30,8	0,8718	35,8	0,8458	40,8	0,8212	45,8	0,7981	50,8	0,7762	55,8	0,7555	60,8	0,7358
30,9	0,8713	35,9	0,8453	40,9	0,8208	45,9	0,7976	50,9	0,7758	55,9	0,7551	60,9	0,7354
31,0	0,8708	36,0	0,8448	41,0	0,8203	46,0	0,7972	51,0	0,7753	56,0	0,7547	61,0	0,7351
31,1	0,8702	36,1	0,8443	41,1	0,8198	46,1	0,7967	51,1	0,7749	56,1	0,7543	61,1	0,7347
31,2	0,8697	36,2	0,8438	41,2	0,8193	46,2	0,7963	51,2	0,7745	56,2	0,7539	61,2	0,7343
31,3	0,8692	36,3	0,8433	41,3	0,8189	46,3	0,7958	51,3	0,7741	56,3	0,7535	61,3	0,7339
31,4	0,8686	36,4	0,8428	41,4	0,8184	46,4	0,7954	51,4	0,7736	56,4	0,7531	61,4	0,7335
31,5	0,8681	36,5	0,8423	41,5	0,8179	46,5	0,7949	51,5	0,7732	56,5	0,7527	61,5	0,7332
31,6	0,8676	36,6	0,8418	41,6	0,8174	46,6	0,7945	51,6	0,7728	56,6	0,7523	61,6	0,7328
31,7	0,8670	36,7	0,8413	41,7	0,8170	46,7	0,7941	51,7	0,7724	56,7	0,7519	61,7	0,7324
31,8	0,8665	36,8	0,8408	41,8	0,8165	46,8	0,7936	51,8	0,7720	56,8	0,7515	61,8	0,7320
31,9	0,8660	36,9	0,8403	41,9	0,8160	46,9	0,7932	51,9	0,7715	56,9	0,7511	61,9	0,7316
32,0	0,8654	37,0	0,8398	42,0	0,8156	47,0	0,7927	52,0	0,7711	57,0	0,7507	62,0	0,7313
32,1	0,8649	37,1	0,8393	42,1	0,8151	47,1	0,7923	52,1	0,7707	57,1	0,7503	62,1	0,7309
32,2	0,8644	37,2	0,8388	42,2	0,8146	47,2	0,7918	52,2	0,7703	57,2	0,7499	62,2	0,7305

32,3	0,8639	37,3	0,8383	42,3	0,8142	47,3	0,4914	52,3	0,7699	57,3	0,7495	62,3	0,7301
32,4	0,8633	37,4	0,8378	42,4	0,8137	47,4	0,7909	52,4	0,7694	57,4	0,7491	62,4	0,7298
32,5	0,8628	37,5	0,8373	42,5	0,8132	47,5	0,7905	52,5	0,7690	57,5	0,7487	62,5	0,7294
32,6	0,8623	37,6	0,8368	42,6	0,8128	47,6	0,7901	52,6	0,7686	57,6	0,7483	62,6	0,7290
32,7	0,8618	37,7	0,8363	42,7	0,8123	47,7	0,7896	52,7	0,7682	57,7	0,7479	62,7	0,7286
32,8	0,8612	37,8	0,8358	42,8	0,8118	47,8	0,7892	52,8	0,7678	57,8	0,7475	62,8	0,7283
32,9	0,8607	37,9	0,8353	42,9	0,8114	47,9	0,7887	52,9	0,7674	57,9	0,7471	62,9	0,7279
33,0	0,8602	38,0	0,8348	43,0	0,8109	48,0	0,7883	53,0	0,7669	58,0	0,7467	63,0	0,7275
33,1	0,8597	38,1	0,8343	43,1	0,8104	48,1	0,7879	53,1	0,7665	58,1	0,7463	63,1	0,7271
33,2	0,8591	38,2	0,8338	43,2	0,8100	48,2	0,7874	53,2	0,7661	58,2	0,7459	63,2	0,7268
33,3	0,8586	38,3	0,8333	43,3	0,8095	48,3	0,7870	53,3	0,7657	58,3	0,7455	63,3	0,7264
33,4	0,8581	38,4	0,8328	43,4	0,8090	48,4	0,7865	53,4	0,7652	58,4	0,7451	63,4	0,7260
33,5	0,8576	38,5	0,8324	43,5	0,8086	48,5	0,7861	53,5	0,7649	58,5	0,7447	63,5	0,7256
33,6	0,8571	38,6	0,8319	43,6	0,8081	48,6	0,7857	53,6	0,7645	58,6	0,7443	63,6	0,7253
33,7	0,8565	38,7	0,8314	43,7	0,8076	48,7	0,7852	53,7	0,7640	58,7	0,7440	63,7	0,7249
33,8	0,8560	38,8	0,8309	43,8	0,8072	48,8	0,7848	53,8	0,7636	58,8	0,7436	63,8	0,7245
33,9	0,8555	38,9	0,8304	43,9	0,8067	48,9	0,7844	53,9	0,7632	58,9	0,7432	63,9	0,7242
34,0	0,8550	39,0	0,8299	44,0	0,8063	49,0	0,7839	54,0	0,7628	59,0	0,7428	64,0	0,7238
34,1	0,8545	39,1	0,8294	44,1	0,8058	49,1	0,7835	54,1	0,7624	59,1	0,7424	64,1	0,7234
34,2	0,8540	39,2	0,8289	44,2	0,8054	49,2	0,7831	54,2	0,7620	59,2	0,7420	64,2	0,7230
34,3	0,8534	39,3	0,8285	44,3	0,8049	49,3	0,7826	54,3	0,7616	59,3	0,7416	64,3	0,7227
34,4	0,8529	39,4	0,8280	44,4	0,8044	49,4	0,7822	54,4	0,7612	59,4	0,7412	64,4	0,7223
34,5	0,8524	39,5	0,8275	44,5	0,8040	49,5	0,7818	54,5	0,7608	59,5	0,7408	64,5	0,7219
34,6	0,8519	39,6	0,8270	44,6	0,8035	49,6	0,7813	54,6	0,7603	59,6	0,7405	64,6	0,7216
34,7	0,8514	39,7	0,8265	44,7	0,8031	49,7	0,7809	54,7	0,7599	59,7	0,7401	64,7	0,7212
34,8	0,8509	39,8	0,8260	44,8	0,8026	49,8	0,7805	54,8	0,7595	59,8	0,7397	64,8	0,7208
34,9	0,8504	39,9	0,8256	44,9	0,8022	49,9	0,7800	54,9	0,7591	59,9	0,7393	64,9	0,7205
35,0	0,8499	40,0	0,8251	45,0	0,8017	50,0	0,7796	55,0	0,7587	60,0	0,7389	65,0	0,7201

ANEXO III. NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA EMISIÓN VEHICULAR.

Artículo 19.- Las emisiones de gases, humos y partículas serán medidas en porcentaje de monóxido de carbono del volumen total de los gases, en parte por millón, (ppm) de hidrocarburos y en porcentaje de bióxido de carbono del volumen total de los gases para motores de gasolina y en porcentaje de opacidad para motores diesel, en correspondencia con los equipos de comprobación que se utilicen.

Artículo 20.- Los vehículos con motor a gasolina que se encuentren circulando de manera permanente en el país a partir del 1 de Enero de 1998, no deben emitir monóxido de carbono (CO) en cantidades superiores al 4.5% del volumen total de los gases, ni hidrocarburos (HC) en cantidades superiores a 600 ppm (partes por millón), ni bióxido de carbono (CO₂) en cantidades inferiores al 10.5% del volumen total de los gases.

Las mediciones de los gases anteriormente mencionados deberá realizarse dos veces consecutivas y en ninguna oportunidad serán sobrepasados los límites establecidos en este mismo inciso; además tales mediciones se realizarán siguiendo las especificaciones del fabricante del equipo de control de emisiones. La primera medición se realizará con el motor funcionando a temperatura normal y en régimen de ralentí a no más de 1,000 RPM (Revoluciones por minuto). La segunda medición se realizará con el motor funcionando a temperatura normal y a una velocidad entre 2200 y 2700 RPM (revoluciones por minuto) con un período de espera de 15 segundos después de la aceleración para la toma de estas muestras.

Artículo 21.- Los vehículos nuevos o usados con motor a gasolina que habiendo ingresado en el país de manera permanente, después del 1 de Julio de 1997, no deben emitir monóxido de carbono (CO) en cantidades superiores al 0.5% del volumen total de los gases, ni hidrocarburos (HC) en cantidades superiores a 125 ppm (partes por millón), ni bióxido de carbono (CO₂) en cantidades inferiores al 12% del volumen total de los gases.

Las mediciones de los gases anteriormente mencionados deberá realizarse dos veces consecutivas y en ninguna oportunidad serán sobrepasados los límites establecidos en este

mismo inciso; además tales mediciones se realizarán siguiendo las especificaciones del fabricante del equipo de control de emisiones.

La primera medición se realizará con el motor funcionando a temperatura normal y en régimen de ralentí a no más de 1,000 RRP (revoluciones por minuto). La segunda medición se realizará con el motor funcionando a temperatura normal y a una velocidad entre 2200 y 2700 RPM (revoluciones por minuto) con un período de espera de 15 segundos después de la aceleración para la toma de estas muestras. Los límites anteriores serán aplicables a todos los motores que se utilicen para reemplazarlos en vehículos que funcionen con combustible gasolina.

Artículo 22.- Los vehículos con motor a diesel que circulen en el país de manera permanente a partir del 1 de Enero de 1998, con un peso menor o igual a 3.5 toneladas no deberán emitir humos y partículas, cuya opacidad exceda el 70%, excepto aquellos vehículos que funcionan con motores diesel turboalimentados, cuyo límite de emisión no podrá superar el 80% de opacidad.

Los vehículos con un peso mayor a 3.5 toneladas no deberán emitir humos y partículas cuya opacidad exceda el 80%. Dicha medición deberá realizarse por medio de equipos con opacímetros de flujo parcial y bajo el procedimiento de aceleración libre.

Artículo 23.- Los vehículos nuevos o usados con motor a diesel que habiendo ingresado al país de manera permanente, después del 1 de Julio de 1997, con un peso menor o igual a 3.5 toneladas no deberán emitir humos y partículas cuya opacidad exceda el 60%, excepto aquellos vehículos que funcionan con motores a diesel turboalimentados, cuyo límite de emisión no podrá superar el 70% de opacidad. Los vehículos con un peso mayor a 3.5 toneladas no deberán emitir humos y partículas cuya opacidad exceda el 70%. Dicha medición deberá realizarse por medio de equipos con opacímetros de flujo parcial y bajo el procedimiento de aceleración libre. Los límites anteriores serán aplicables a todos los motores que se utilicen para reemplazarlos en vehículos que funcionen con combustible diesel.

ANEXO IV. NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 202:2000.**GESTION AMBIENTAL AIRE VEHÍCULOS AUTOMOTORES DETERMINACION DE LA
OPACIDAD DE EMISIONES DE ESCAPE DE MOTORES DE DIESEL MEDIANTE LA
PRUEBA ESTATICA METODO DE ACELERACION LIBRE.****1. OBJETO**

- 1.1. Esta norma establece el método de ensayo para determinar el porcentaje de las emisiones de escape de las fuentes móviles con motor de diesel mediante el método de aceleración.

2. ALCANCE

- 2.1. Esta norma se aplica a los vehículos automotores cuyo combustible es diesel.

3. DEFINICIONES

- 3.1. Par los efectos de esta norma se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 2207, y las que a continuación se detallan:
- 3.1.1. Aceleración libre. Es el aumento de revoluciones del motor de la fuente móvil, llevado rápidamente desde marcha mínima a máxima revoluciones, sin carga y en neutro (para transmisiones manuales) y en parqueo (para transmisiones automáticas).
- 3.1.2. Auto calibración. Es la rutina en la cual el equipo verifica el funcionamiento óptimo de todos sus componentes instrumentales y realiza una comparación con los patrones internos incorporados por el fabricante.
- 3.1.3. Calibración de un equipo de medición. Operación destinada a llevar un instrumento de medida al estado de funcionamiento especificado por el fabricante para su utilización.
- 3.1.4. Exactitud. Grado de concordancia (la mayor o menor cercanía) entre el resultado de una medición y un valor verdadero del mensurando.
- 3.1.5. Opacidad. Grado de reducción de la intensidad de la luz visible que ocasiona una sustancia al pasar aquella a través de ésta.
- 3.1.6. Opacímetro. Instrumento de medición que opera sobre el principio de reducción de la intensidad de la luz que se utiliza para determinar el porcentaje de opacidad.

- 3.1.7. Porcentaje de Opacidad. Unidad de medición que determina el grado de opacidad de las emisiones de escape de una fuente móvil a diesel.
- 3.1.8. Repetibilidad. Grado de concordancia de resultados de sucesivas mediciones de la misma variable, realizadas en iguales condiciones de medida.
- 3.1.9. Tiempo de calentamiento del equipo de ensayo. Es el período en segundos entre el momento en que el equipo es energizado o encendido y el momento en que cumple con los requerimientos de estabilidad, para realizar la lectura de la variable.
- 3.1.10. Tiempo de respuesta del equipo de medición. Es el período en segundos que el equipo requiere para medir y entregar los resultados de los ensayos realizados.
- 3.1.11. Sonda de prueba. Tubo o manguera que se introduce a la salida del sistema de escape del vehículo automotor para tomar una muestra de las emisiones.

4. DISPOSICIONES GENERALES

- 4.1. Los importadores y distribuidores de opacímetros deben obtener una certificación de cumplimiento, expedida por la casa fabricante o propietaria del diseño del equipo o de un laboratorio autorizado por ella y avalada por la autoridad competente del país de origen. El procedimiento de evaluación base para certificar los opacímetros a ser utilizados debe cumplir con la Norma ISO 11614.
- 4.2. Los importadores y distribuidores están obligados a suministrar copia de la certificación establecida en el numeral 4.1, a quienes adquieran los opacímetros.
- 4.3. La autoridad competente, podrá en cualquier momento verificar la legalidad de las certificaciones presentadas por los importadores y distribuidores, sobre el cumplimiento de los requisitos establecidos en esta norma, así como las características de funcionamiento de los equipos y procedimientos utilizados para medir la opacidad de aceleración libre.

5. METODO DE ENSAYO

5.1. Fundamento.

- 5.1.1. Este método de ensayo se basa en la determinación del porcentaje de luz visible que se absorbe y refleja cuando un haz de ésta atraviesa la corriente de las emisiones provenientes del sistema de escape.

5.2. Equipos

- 5.2.1. Ver numeral 4, Disposiciones Generales.
- 5.2.2. Capacidad de auto calibración. Los opacímetros deben tener incorporada la función propia, la cual se debe realizar automáticamente cada vez que el opacímetro es encendido, o manualmente, cada vez que el usuario lo requiera.
- 5.2.3. Los opacímetros deben contar con un dispositivo de impresión directa de los resultados y de la identificación del vehículo automotor medido.
- 5.2.4. El equipo debe disponer de características de seguridad que garanticen la protección del operador.

5.3. Calibración

- 5.3.1. Calibración del 0%. El circuito eléctrico de la fuente de luz y del receptor debe ser ajustado de tal manera que la lectura de salida marque cero cuando el flujo del luz pase a través de la zona de medición en ausencia de emisiones de escape.
- 5.3.2. Calibración del 100%. Utilizar un filtro de densidad óptica neutral y colocar éste perpendicularmente al haz de luz, con un valor que corresponda al 100 % de opacidad, o una pantalla que permita bloquear completamente la fuente de luz, en ausencia de emisiones de escape.
- 5.3.3. Calibración intermedia. Utilizar por lo menos tres filtros calibrados de densidad neutra, con valores representativos en el rango de 0 a 100 %, en ausencia de emisiones de escape.
- 5.3.3.1. Insertar los filtros en la trayectoria de la luz, perpendicularmente al haz emitido.
- 5.3.3.2. El error de lectura no deberá superar a ± 1 % del valor conocido.
- 5.3.4. La calibración del opacímetro se debe realizar siguiendo estrictamente las

especificaciones de frecuencia del fabricante del equipo.

- 5.3.4.1. En el caso de que esas especificaciones no estén disponibles, la calibración se debe realizar por lo menos cada tres meses.
- 5.3.4.2. Adicionalmente, calibrar el equipo luego de cada mantenimiento correctivo. Esta calibración es independiente de la auto calibración automática que realiza el equipo cada vez que es encendido.

5.4. Procedimiento de medición

5.4.1. ANTES DE LA PRUEBA.

- 5.4.1.1. Verificar que el sistema del vehículo se encuentre en perfectas condiciones de funcionamiento y sin ninguna salida adicional a las del diseño, que provoque dilución de los gases de escape o fugas de los mismos. Las salidas adicionales a las contempladas en el diseño original no deben ser aceptadas, aunque éstas se encuentren bloqueadas al momento de la prueba.
- 5.4.1.2. Verificar que el nivel de aceite en el cárter del motor del vehículo esté entre el mínimo y máximo recomendado por el fabricante del vehículo, con el motor apagado y el vehículo en posición horizontal.
- 5.4.1.3. Verificar que el motor del vehículo se encuentre en la temperatura normal de operación.
- 5.4.1.4. Verificar que la transmisión del vehículo se encuentre en neutro (transmisión manual) o en parqueo (transmisión automática).
- 5.4.1.5. Si el vehículo no cumple con las condiciones determinadas anteriormente, la prueba no se debe realizar, hasta que corrijan las fallas correspondientes.
- 5.4.1.6. Someter al equipo de medición a un período de calentamiento y estabilización, según las especificaciones del fabricante.
- 5.4.1.7. Verificar que se haya realizado el proceso de autocalibración en el equipo.
- 5.4.1.8. Verificar que el opacímetro marque cero en la lectura.

MEDICIÓN

- 5.4.1.9. Verificar que no exista ningún impedimento físico para el libre movimiento del acelerador.
- 5.4.1.10. Con el motor funcionando en “ralenti”, realizar por lo menos tres aceleraciones consecutivas, desde la posición de “ralenti” hasta la posición de máximas revoluciones, con el fin de limpiar el tubo de escape.
- 5.4.1.11. Conectar la sonda de prueba a la salida del sistema de escape del vehículo.
- 5.4.1.12. Aplicar aceleración libre al vehículo y permitir que el motor regrese a condición de “ralenti”.
- 5.4.1.13. Repetir lo indicado en el numeral 5.4.2.4, por lo menos seis veces, consecutivamente.
- 5.4.1.14. En cada ciclo, registrar el valor del porcentaje de opacidad máximo obtenido. No se deben tener en cuenta los valores leídos mientras el motor está en marcha mínima, después de cada aceleración
- 5.4.1.15. Para el resultado final, considerar como mínimo tres lecturas tomadas en estado estable, es decir, cuando al menos estas tres lecturas consecutivas se sitúen dentro de un rango del 10%, y no formen una secuencia decreciente.

5.5. Informe de resultados

- 5.5.1. El resultado final será la medida de los valores de las tres lecturas obtenidas en el numeral 5.4.2.7.
- 5.5.2. La institución que realiza la prueba debe emitir un informe técnico con los resultados de la misma, adjuntando el documento de impresión directa del opacímetro.

Vehículos que utilizan combustible diesel para su funcionamiento.

VEHICULOS QUE INGRESARON AL PAIS ANTES DE 01/01/99	VEHICULOS QUE INGRESARON AL PAIS DESPUES DEL 01/01/99
=< 3.5 ton ,70% de opacidad sin turbo	=< 3.5 ton, 60% de opacidad sin turbo
=< 3.5 ton ,80% de opacidad con turbo	=< 3.5 ton, 70% de opacidad con turbo
>= 3.5 ton, 80% de opacidad con turbo	>= 3.5 ton, 70% de opacidad con turbo